

CORRELAÇÃO DO RUÍDO, MULTICAMINHO E ÂNGULO DE ELEVAÇÃO NAS MEDIDAS DE FASE DAS PORTADORAS GPS

Márcio José Barbieri¹
Julio Cesar Farret²
Carlito Vieira de Moraes³
Isaias Salin Farret⁴

¹Universidade Federal de Santa Maria – UFSM - marcio030778@mail.ufsm.br

²Universidade Federal de Santa Maria – UFSM - jcfarret@smail.ufsm.br

³Universidade Federal de Santa Maria – UFSM - carlito@smail.ufsm.br

⁴Universidade Federal de Santa Maria – UFSM - ifarret@uol.com.br

RESUMO

Multicaminho é o fenômeno pelo qual o sinal GPS chega à antena do receptor por caminhos secundários, após refletir em objetos mais ou menos próximos da antena, causando erros nas medidas de pseudodistância e de fase das portadoras. O sinal transmitido do satélite é recebido e amplificado pela antena. Nos receptores modernos, depois da identificação do satélite, o sinal é processado nos diferentes canais, onde no mínimo quatro canais (um para cada satélite) são necessários para determinar a posição em função das pseudodistâncias ou das fases. O oscilador de frequência é considerado a função chave do receptor, por determinar a frequência de referência. Através dela é possível medir o tempo de “viagem” do sinal desde o satélite até o receptor (por código), as medidas da fase das portadoras e, inclusive, a identificação do satélite através de seu código PRN. Essa medida de tempo é feita através de uma função de correlação entre o sinal que chega e a réplica local. O ruído e o multicaminho, alteram essa função, gerando erros que afetam as coordenadas finais estimadas. O presente trabalho tem como objetivo estudar a presença de ruído no sinal GPS para o satélite 9, a sua relação com o multicaminho e de ambos com a altura do satélite. Os parâmetros analisados de potência do sinal foram a SNR e a C/N_0 . Os dados foram extraídos de arquivos de observação no formato RINEX e ASCII. Os sinais com multicaminho e a trajetória (elevação e azimute) do satélite foram extraídos conforme a metodologia da alta correlação de sinais de duas antenas próximas. Os resultados obtidos mostram uma grande e direta relação de cerca de 70% entre a potência do sinal e a elevação do satélite, e inversa em relação aos erros de multicaminho; permitindo subsidiar a escolha de máscara de trabalho.

Palavras-chaves: Multicaminho, Ruído, SNR

NOISE CORRELATION, MULTIPATH AND ELEVATION ANGLE IN THE GPS CARRIER PHASE MEASUREMENTS

ABSTRACT

The multipath is the phenomenon through which a signal from the satellite arrives at a receiver antenna via secondary paths, this is after reflecting of obstacles close to the antenna or going directly from the satellite to the antenna, causes errors in the code and phase measurements. The transmitted signal is received and amplified by the antenna. In modern receivers, after the satellite identification, the signal is processed in the different channels, at least four channels (one for each satellite), are necessary to establish the position according to the pseudorange or the phases. The frequency oscillator is the key function of the receiver, because it determines the reference frequency. Through it's possible to measure the satellite-antenna traveling time of the signal (by code), the carrier phase measurements and including the satellite identification through its PRN code. This time measurement is obtained by a correlation function between the signal that arrives and replica. The noise, as well as the multipath, alter this function causing errors that affect the final estimated coordinates. The objective of this work is to study the presence of noise in the GPS signal, its relation with the multipath and the relation of both with the satellite 9 height. The signal potency parameters analyzed were the SNR and the C/N_0 . The data were extracted from the observation files RINEX format. The multipath signal and the course (elevation and azimuth) of the satellite were extracted according to the methodology of signal high correlation between two neighbor antennas. There was a direct and large relation of approximately 70% between the signal potency and the satellite elevation, and also an inverse relation to the multipath errors; permit the choice of the mask of work.

Keywords: Multipath, Noise, SNR

1. INTRODUÇÃO

O NAVSTAR/GPS é um sistema de rádio-navegação baseado em satélites artificiais que proporciona alta acurácia nos posicionamentos. Este sistema baseia-se no cálculo da posição do usuário através da distância receptor-satélite feitas por medidas de fase das ondas portadoras L1 e L2 e por medidas de tempo obtidas pela correlação dos códigos C/A e P dos sinais transmitidos pelos satélites.

Portanto, o ruído e o multicaminho, inerentes a transmissões, prejudicam a precisão da distância medida, com conseqüências na posição do usuário. Segundo Moelker (1997), este efeito pode ser reduzido de três formas. Primeiramente, através de procedimentos que visem o sinal antes dele atingir a antena. O segundo é através tratamento do sinal durante o seu processamento pelo “software” do receptor (nos “tracking loops” – DLL e PLL), como demonstrado em Parkinson *et. al.* (1996) com o objetivo de melhorar a SNR (razão sinal/ruído) no processamento do sinal internamente ao receptor durante o processo de rastreamento. A terceira forma é a análise do sinal após sua saída do receptor, através de métodos que procuram identificar, quantificar e compensar o multicaminho, como a análise do sinal por técnicas de tratamento de sinais ou por análise de parâmetros como, por exemplo, a SNR, como proposto no presente trabalho, mas com objetivo de investigar a presença de ruído no sinal GPS, a sua relação com o multicaminho e de ambos com a altitude do satélite, especialmente durante o processo de rastreamento do sinal pelo receptor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - MULTICAMINHO

O multicaminho é caracterizado pela chegada de um ou mais sinais ao receptor além do sinal direto do satélite. Esses sinais ocorrem devido à reflexões em superfícies refletoras mais ou menos próximas da antena e durante o percurso do sinal do satélite ao receptor. Este efeito não é um fenômeno com características aleatórias, sendo a maior fonte de erro na maioria das aplicações GPS, e a única ainda não dominada satisfatoriamente pela pesquisa. Entre os erros que afetam as observáveis NAVSTAR/GPS, o multicaminho nas medidas de fase é maior fonte de erro em medidas GPS de alta precisão (Ray, 1999).

A chegada de mais de um sinal geram problemas na detecção do pico da função de correlação (correlação máxima = 1) entre o sinal que chega na antena e sua réplica gerada no receptor, ocasionando um erro na distância receptor-satélite medida. (Brown & Hwang, 1992 *apud* Farret, 2000).

Segundo Fenton *et al.* (1991); Van Dierendonck *et al.*, 1992; Cannon & Lachapelle (1992) o uso de correlacionadores estreitos (“Narrow Correlator Spacing” ou “narrow lane”) diminui a interferência do ruído e do multicaminho tanto para as medidas pelos códigos C/A e P quanto para as medidas da fase. Esses correlacionadores diminuem o intervalo de correlação do sinal, fazendo com que o pico da função de correlação ocorra realmente próximo de 1 (valor máximo).

Segundo Seeber (1993) na propagação do sinal do satélite ao receptor o mesmo sofre diferentes tipos de interferências, como variações na direção, velocidade, polarização e potência, como também na distância para chegar ao receptor e no tempo de chegada até ele. Como conseqüência do maior caminho percorrido, o sinal com multicaminho é sempre atrasado em relação ao sinal direto. A diferença entre o sinal direto e o sinal indireto é proporcional ao comprimento do caminho percorrido entre satélite e o receptor (Hofmann-Welenhof, 1994 *apud* Tranquilla, 1986).

Segundo Hofmann-Welenhof (1994) a diversidade de situações geométricas dificulta a modelagem para o multicaminho, mas ele pode ser estimado pela combinação das portadoras L1 e L2 em código e fase.

As superfícies refletoras podem ser caracterizadas de diferentes maneiras quanto à forma, posição em relação à antena e propriedades dielétricas do material de composição.

Segundo Comp & Axelrad (1996) *apud* Farret (2000), o multicaminho propagado através da reflexão especular, que é originado da reflexão em superfícies lisas, representa aproximadamente 90% do multicaminho que afeta as medidas GPS.

A frequência do multicaminhamento é proporcional à distância perpendicular entre a superfície refletora e a antena e inversamente proporcional ao comprimento da onda, além de ser função do ângulo de elevação do satélite (Leick, 1995 *apud* Monico, 2000).

Conforme Parkinson (1996), os sinais de multicaminho que causam maior problema são os sinais originados em refletores próximos (< 30 m), o que caracteriza o multicaminho de baixa frequência. O multicaminho originado em refletores distantes é considerado de alta frequência, e pode ser atenuado e minimizado durante o processamento do sinal em nível de receptor ou em pós-processamento.

O efeito do multicaminho ocasiona erro nas medidas de código, fase e SNR (e/ou C/N_0 – razão densidade ruído/portadora). O erro nas medidas com o código P é menor que nas medidas com código C/A porque é modulado a uma taxa dez vezes maior (10,23 MHz), ou seja, o comprimento de um “chip” do código P é dez vezes menor que o do código C/A. Nas medidas de fase o erro é de poucos centímetros e até milímetros, sendo proporcional à força do sinal com multicaminho (Parkinson, 1996). O efeito do multicaminho na fase da onda portadora é de 1/4 do comprimento de onda, o que equivale a 4,8 cm para a portadora L1 (Leick, 1990).

Segundo Brown & Hwang (1992), o multicaminho causa erro de aproximadamente 1,5m na medida da pseudodistância de um observador estacionário, com um intervalo de repetição de 10 minutos, e ocorre devido a baixos ângulos de elevação dos satélites ($< 15^\circ$).

Segundo Weill (1997), o multicaminho pode ser atenuado por técnicas espaciais e técnicas de processamento de sinal. As técnicas espaciais baseiam-se na geometria de propagação do sinal. Podem-se citar algumas como, escolha do local adequada da antena do receptor; uso de antenas especiais; processamento espacial com múltiplas antenas; uso de materiais de alta absorção e longos períodos de observações e ainda através da determinação dos parâmetros do multicaminho baseado na alta correlação de sinais entre antenas próximas. As técnicas de processamento de sinal são referentes ao “software” no receptor. Essas técnicas visam reduzir o efeito do multicaminho no “tracking Loop”, ou seja, visam atenuar o efeito nas medidas de código e fase atuando principalmente na função de correlação entre o sinal direto e o sinal secundário. Para maiores detalhes sobre as técnicas, pode-se consultar Weill (1997); Parkinson *et al* (1996); Ray, Cannon & Fenton (1998); Brown & Hwang (1992) *apud* Farret (2000

Segundo Boucher (1987) e Langley (1997b), os receptores de duas frequências fornecem alta acurácia devido outros fatores internos, ao baixo ruído no processamento do código e da fase da portadora e funções de correlação com alta razão de dados (>1 Hz), o que tem implicações na taxa de correlação entre códigos. Fatores externos também influenciam no desempenho do receptor como a geometria da constelação dos satélites com respeito ao receptor e o intervalo de observação. Para um melhor entendimento do multicaminho e suas técnicas de atenuação, porém, é necessário conhecer alguns aspectos internos do receptor GPS.

2.2 - RECEPTOR

Os receptores GPS são compostos dos seguintes componentes: a)Antena; b)Pré-Amplificador; c)Oscilador de referência (relógio); d)Sintetizador de frequência; e)Conversor de baixa frequência; f)Seção de frequência intermediária; g)Processamento do sinal.

A antena consiste de um ou mais dispositivos eletrônicos com a função de receber os sinais emitidos pelos satélites nas duas frequências, ou seja, as portadoras L1 e L2. A antena requer alguns parâmetros fundamentais para ter um ótimo funcionamento, como ganho em função do azimute e elevação, rejeição de multicaminho e interferências nos sinais, repetibilidade e estabilidade da fase, perfil, tamanho e condições ambientais (temperatura). Esse último fator está diretamente relacionado ao ruído e ao multicaminho.

O diagrama do ganho da antena é a capacidade que tem a antena em compensar perdas de potência que a ela chegam em relação a um nível mínimo de referência. Em termos de visibilidade dos satélites, ela tem como objetivo uniformizar a intensidade do sinal para todos os satélites a partir de um ângulo de elevação especificado, ou ainda por um tempo determinado, nas frequências das portadoras L1 e L2 em temperatura ambiente, devido a grande influência da temperatura no ruído, mostrado em Parkinson (1996).

O pré-amplificador é um dispositivo que objetiva deixar a potência recebida em níveis desejados para o sinal ser processado. O sinal que o alimenta vem da antena. Esta função é necessária para preservar o sinal desejado (direto) das interferências das frequências indesejadas do ambiente (refletidas) e das perdas de antes e após o amplificador.

O oscilador de referência proporciona o sistema de tempo e a frequência de referência para o receptor GPS, ou seja, gera a réplica do sinal para ser correlacionada com o sinal que vem do satélite. Esta correlação depende do instante de chegada do código de ruído pseudo-aleatório, da fase da portadora recebida e da frequência.

O sintetizador de frequência utiliza a frequência derivada dos osciladores de referência local (LO). A função do sintetizador de frequência é diminuir o ruído na fase gerado por ele mesmo quando transforma a frequência de referência nas frequências das portadoras L1 e L2.

Os LOs são utilizados pelos conversores de baixa para converter a rádio frequência de entrada para uma frequência intermediária, facilmente processada nas seções IF dos receptores.

Na Seção da frequência intermediária é realizada uma filtragem na interferência e no ruído de banda larga e também aumenta a amplitude do sinal mais o ruído para viabilizar o processamento.

2.3 - RUÍDO

O sinal que sai da antena do receptor passa por uma linha de transmissão, um filtro passa-banda e um amplificador de baixo ruído. Devido a potencial perda na linha o amplificador de baixo ruído é mantido fisicamente próximo à antena. O filtro passa-banda também tem que ter baixa perda. A temperatura de ruído efetivo e a densidade espectral do ruído estão relacionadas com a potência do sinal recebido para um determinado satélite, tanto na L1 como na L2, mostrada em Parkinson (1996).

A precisão da determinação da posição do código pseudoaleatório e das medidas de pseudodistância na função de correlação com respeito ao ruído branco nas pseudodistâncias para medidas do código P é de aproximadamente 1 metro e até 5 metros para código C/A.

Segundo Langley (1997b), o ruído do receptor é da ordem de 0,1 % do comprimento de onda do sinal, o que corresponde à ordem de magnitude de dm para código C/A e 1 ou 2 mm para código P.

2.4-OUTRAS ESPECIFICAÇÕES DO SINAL GPS

O segmento espacial GPS-ICD-200 (Interface Control Document Anon GPS-ICD-200) define uma perda de correlação máxima de 1 dB tomando como base um sinal e um receptor ideal, devido a imperfeições na geração e filtragem do sinal e distorções na forma da onda portadora. Essa perda é dividida em 0,6 dB para imperfeições da modulação no satélite e 0,4 dB causado pelo filtro de 20,46 MHz.

Outras especificações do sinal GPS dizem que a densidade espectral do ruído na fase é tida como suficientemente pequena para garantir uma precisão na sua medida com desvio-padrão de 0,1 rad (Parkinson, 1996) excluindo o ruído térmico; que a modulação dos sinais em quadratura de fase e "in-fase" tem um desvio-padrão de ± 100 mrad o que corresponde, por exemplo, a um tempo de transição dos códigos C/A ou P na portadora L1 menor do que 10 ns; que a incerteza na velocidade de grupo não excede 3 ns ao nível de 2σ , que interferências tenham potência de, pelo menos, 40 dB abaixo das portadoras.

A razão da densidade ruído/portadora recebida é um dos parâmetros chave que determinam a performance de um receptor, sendo expressa por C/N_0 , onde C é a potência efetiva na portadora (representada pela potência mínima esperada menos a perda de potência na linha de transmissão) afetada por multicaminho, atmosfera e baixos ângulos de elevação e N_0 a densidade do ruído (representado pela constante de Boltzmann multiplicada pela temperatura equivalente do sistema) mostrado em Parkinson (1996). O valor da razão densidade ruído/portadora é fornecida nos arquivos de saída dos receptores GPS e está diretamente relacionada com a SNR através do comprimento da banda. A relação direta entre C/N_0 e SNR difere entre os receptores comerciais.

3. MATERIAIS E METODOLOGIA

Os dados para análise foram extraídos de 3 dias consecutivos de rastreios em sessões de aproximadamente 1,5 hora de duração com intervalo entre épocas de um segundo corresponde ao satélite 9. O experimento foi montado no prédio do Laboratory of Geodesy and Geomatics Engineering da University of New Brunswick (UnB), Canadá.

No local do experimento, considerou-se como fontes refletoras principais os prédios, os parapeitos e os pilares. Ambos, localizados com distâncias diferentes, mais ou menos próximos das antenas.

Os sinais compostos por multicaminho mais ruído foram extraídos pela metodologia da alta correlação dos sinais entre antenas próximas (Farret, 2000) tendo-se utilizado um receptor marca NovAtel modelo Beeline conectado a duas antenas modelo 501.

Os sinais de ruído, na forma de C/N_0 , foram extraídos dos arquivos no formato ASCII, e na forma de SNR, dos arquivos no formato RINEX, ambos gerados pelo programas comerciais NovAtel GPS Solution versão 3.1 e Convert. Elaborou-se programa em linguagem Delphi para extração e manipulação inicial dos dados.

Para cálculo e processamento geral e geração de gráficos e resultados, usou-se o programa MatLab, através de programas e rotinas elaboradas especialmente com essa finalidade.

O cálculo do efeito da SNR representado pelo desvio-padrão do erro do ruído nas medidas de fase é dado da seguinte forma, segundo Parkinson (1996, pg. 90):

$$c\sigma_T = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{SNR_L}} \quad (1)$$

Onde λ é o comprimento de onda da portadora e a SNR_L é a razão sinal/ruído para um ruído com comprimento de banda especificado.

A figura 1 mostra o ganho da antena 501 usada no experimento, mostrando a seguir as especificações técnicas da mesma, importantes no aspecto de prevenção e atenuação do efeito do multicaminho.

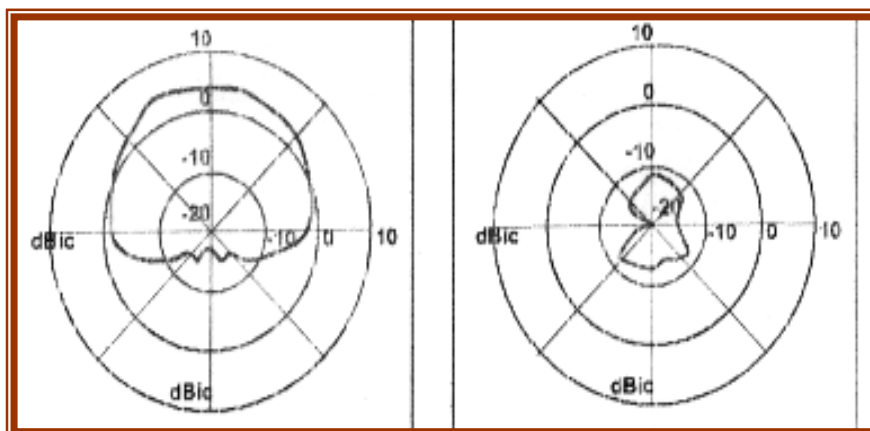


Figura 1: Ganho da antena GPS 501 para RHCP (figura do lado esquerdo) e LHCP (figura do lado direito)
Fonte: < WWW.NOVATEL.CA/PROUCTMANUALS.HTML >

O ganho da antena 501 é de 0 dBic para ângulos de elevação até 15° , -3 dBic para ângulos até 5° e de -10 dBic para ângulos até 30° abaixo do horizonte da antena.

Os baixos valores de ganho para sinais LHCP atuam como mecanismo de proteção contra os efeitos do multicaminho, pois tendem a isolar os sinais com essa origem, geralmente sinais não-diretos, o que também é uma forma de atenuar o multicaminho.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos serão representados na forma de gráficos, ilustrando a interferência nos sinais dos satélites estudados.

A figura abaixo é ilustrativa para o satélite 9.

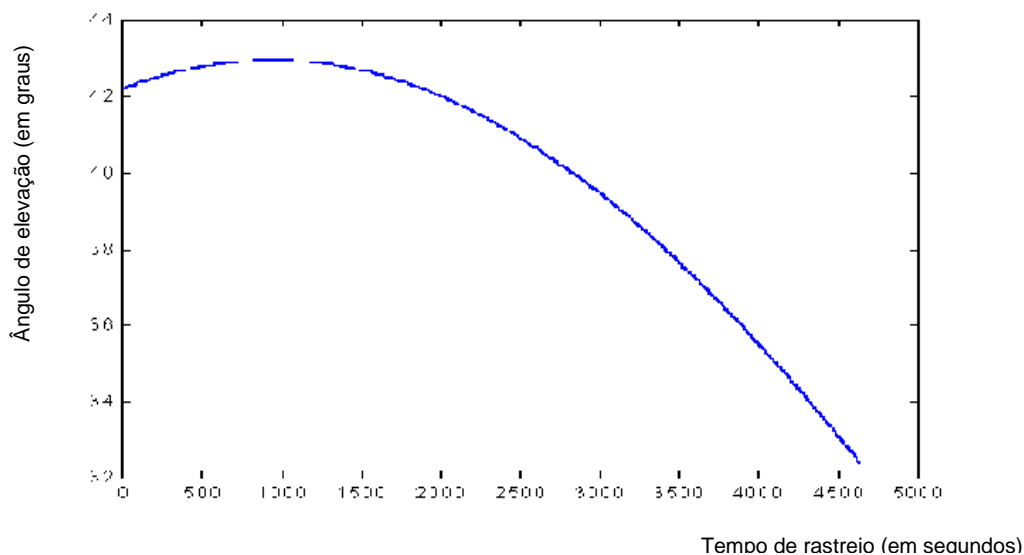


FIGURA 2: Elevação, em graus, do satélite 9 para ambos os dias de rastreamento.
Fonte: AUTOR (2004)

A figura 2 mostra a importância da escolha do satélite 9 para o estudo do ruído e do multicaminho. O motivo da escolha foi a grande variação na altitude do mesmo. Observa-se pequeno aumento na elevação no início do rastreamento e, após, uma diminuição da mesma, com uma variação de aproximadamente 10° durante o rastreamento. Isso permite observar o comportamento da C/N_0 nessas condições de elevação, sendo que 10° e 15° são os valores de máscara mais comuns em levantamentos com GPS.

A figura abaixo é ilustrativa para o satélite 9.

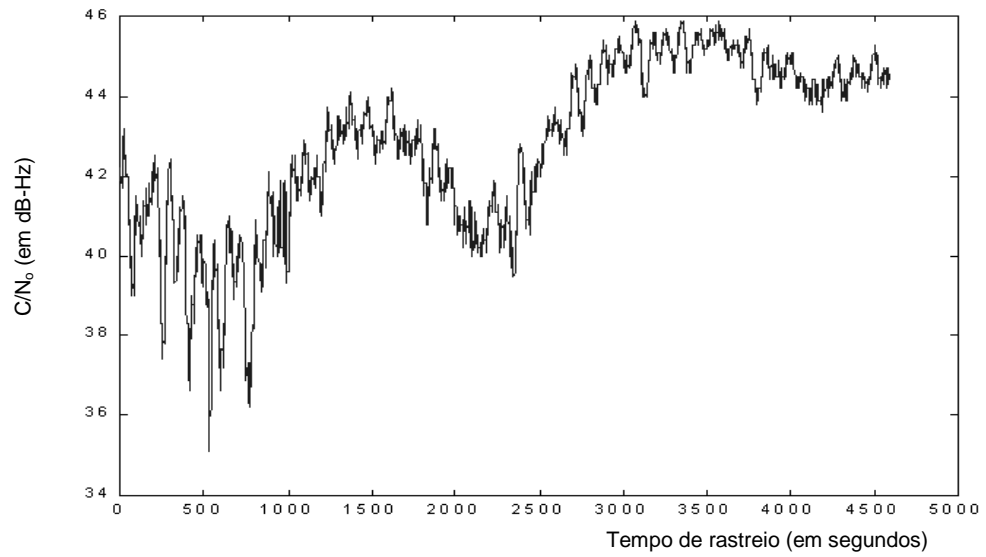


FIGURA 3: C/N₀, em dB-Hz, para satélite 9 no primeiro dia de rastreo.
Fonte: AUTOR (2004)

A figura 4 é ilustrativa para o satélite 9.

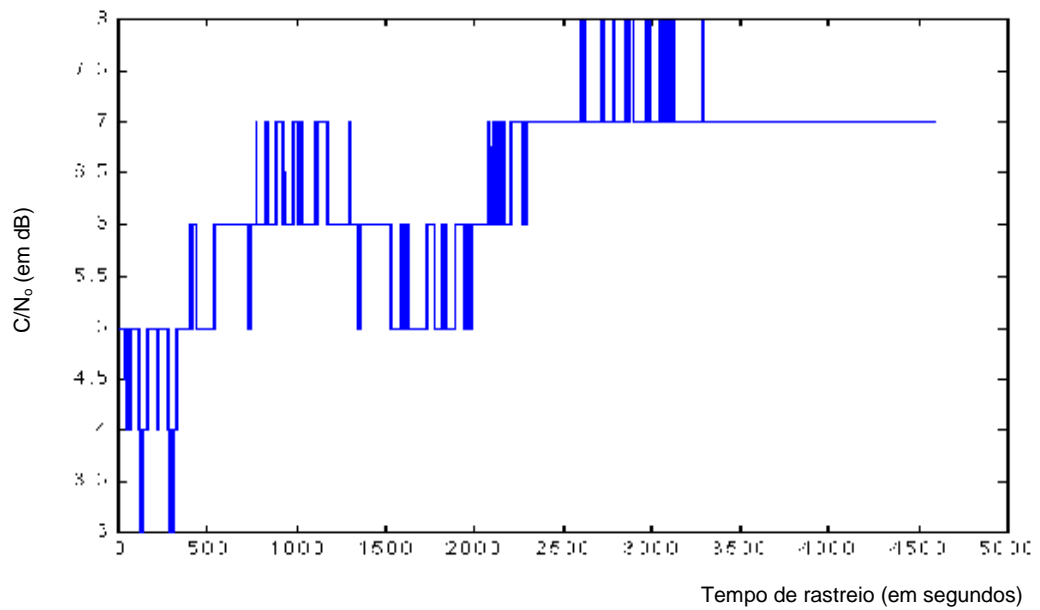


FIGURA 4: SNR, em dB, para Satélite 9 no primeiro dia de rastreo.
Fonte: AUTOR (2004)

A figura 5 é ilustrativa para o satélite 9.

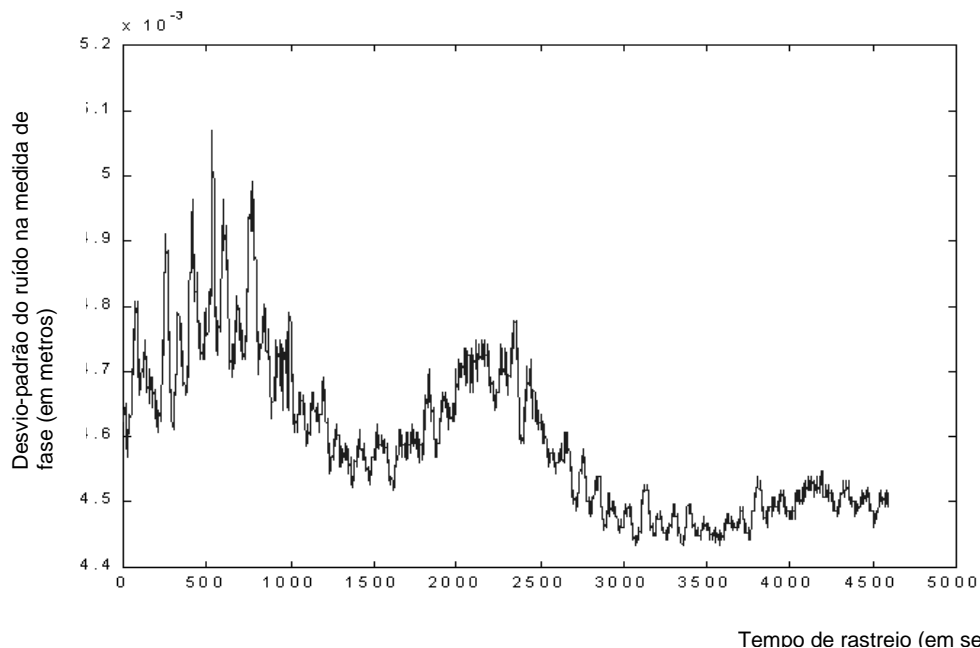


FIGURA 5: Desvio-padrão do ruído na medida de fase devido ao ruído, em metros, para satélite 9 no primeiro dia de rastreamento. Fonte: AUTOR (2004)

A figura 6 é ilustrativa para satélite 9.

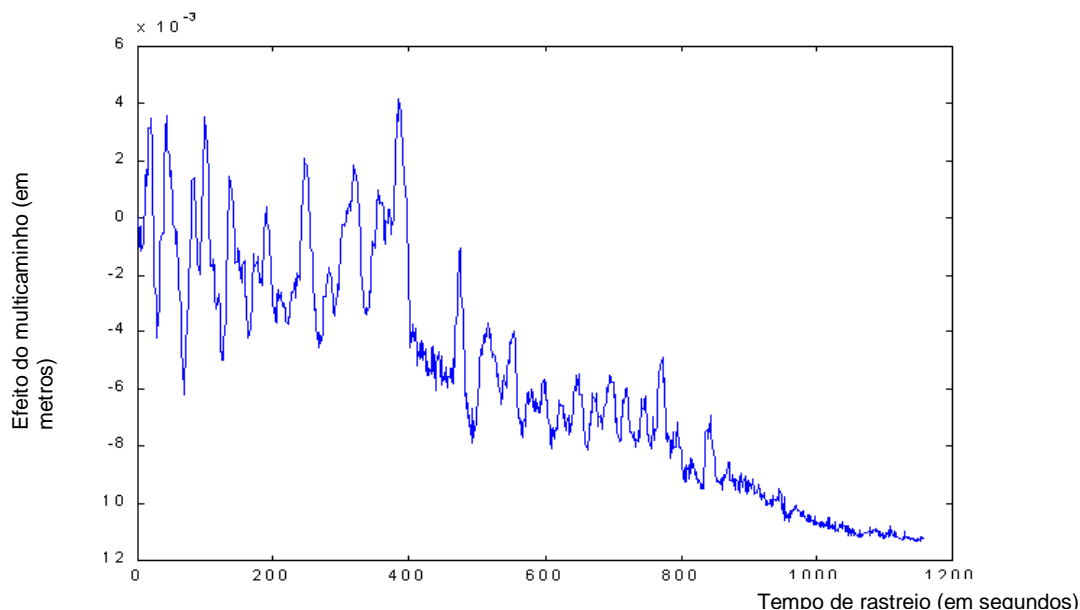


FIGURA 6: Efeito do multicaminho, em metros, para o satélite 9 no primeiro dia de rastreamento. Fonte: AUTOR (2004)

Os resultados mostram os coeficiente de correlação entre C/N_0 dos sinais para o satélite 9 entre o dia 1 e o dia 2 igual a 84,31%, para o dia 2 e o dia 3 igual a 44,22%. Na correlação entre a C/N_0 e a SNR para os sinais o coeficiente para o dia 1 e o dia 2 é maior que 90% e a repetibilidade média do sinal composto (multicaminho mais ruído) nos 3 dias de rastreios é de 76%. Os coeficientes de correlação são calculados através dos vetores representativos de cada grandeza correlacionada, ou seja, os sinais. O coeficiente de correlação entre duas variáveis aleatórias (ρ) é uma medida normalizada do grau de correlação entre essas duas variáveis, sendo que a normalização conduz a valores compreendidos entre -1 e 1. A expressão do coeficiente de correlação pode ser vista em Brown e Hwang (1992, pg. 42).

$$\rho = \frac{CovXeY}{\sqrt{VarX} \sqrt{VarY}} \quad (2)$$

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observa-se uma alta correlação entre os sinais de C/N_0 e SNR para o satélites 9 (maior que 90,3352%). Esse fato comprova a consistência do algoritmo comercial da empresa para essa conversão.

A alta correlação apresentada entre a C/N_0 de dias consecutivos para o satélite 9 (84,3141%) demonstram a validade da tecnologia da alta correlação em antenas próximas como identificadora do sinal composto, especialmente de multicaminho. Por outro lado, porém, demonstra que o ruído acompanha em certo grau essa repetibilidade, mas em grau bem menor que o multicaminho. Esse fato tem explicação nas características peculiares de um e outro sinal. Enquanto o multicaminho é altamente dependente da geometria entre satélites, receptor e refletores (que no experimento desse trabalho permaneceu invariável) o mesmo não pode ser dito para o ruído, que é influenciado por fatores outros como, principalmente, as características técnicas próprias da antena como, por exemplo, o ganho da mesma em função da altitude do sinal vindo do satélite e da frequência (fixa) e da temperatura ambiente (variável). Nesse caso é interessante a redução ocorrida no valor da correlação da C/N_0 do satélite 9 entre os dias 2 e 3 (menor que 50%), que não acompanhou a alta repetibilidade daquela entre os dias 1 e 2. Esse fato foi influenciado em grande grau pela forte elevação da temperatura nesse dia em relação aos dois dias anteriores.

Outra confirmação interessante é a tendência de comportamento dos sinais de ruído (figura 3) e o desvio-padrão do erro do ruído na medida da fase por ele provocado (figura 6). Ambos variam no mesmo sentido, ou seja, enquanto aumenta a C/N_0 para o satélite 9 (figura 3) diminui o desvio-padrão do erro na medida da fase devido ao ruído (figura 5).

O cruzamento dessas informações com a altitude dos satélites (figura 2) mostra não mostra claramente a relação em que a medida que o satélite desce no horizonte ocorre uma diminuição da C/N_0 e aumenta o desvio-padrão do erro na medida da fase devido ao ruído. No caso do satélite 9, não chegou a valores muito baixos de elevação e teve pouca variação de elevação (de 42° para 32° , aproximadamente) as características de ganho da antena para essa elevação (0 dBic) fizeram-se valer fortemente.

Análise interessante também é verificada nos resultados no desvio-padrão do erro na medida de fase causado pelo ruído em relação ao satélite 9, com um valor médio do erro do sinal composto de 1,3 cm e valor médio do desvio-padrão do erro na medida da fase devido ao ruído de 0,43 cm, representando cerca de 30% do sinal composto, sendo que a repetibilidade média nos três dias foi de 76%, logo, poderia-se esperar que 24% fossem devidos ao ruído.

A análise da SNR mostra para o satélite 9 certos "picos" de valores bastante baixos no final da sessão, ou seja, quando o satélite já estava em sua elevação menor. Isso demonstra que os valores de C/N_0 já atingiam valores que, dependendo da relação com a SNR, traduzia-se em valores que começavam a trazer problemas para a qualidade do posicionamento.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nos resultados, que a relação de repetibilidade do sinal com multicaminho é válida, bem como que a parte não repetitiva, é devida ao ruído, restando ainda resíduos muito pequenos e de causa ainda não bem definida, a serem estudados. Esses valores podem, inclusive, serem usados para subtrair do sinal original, obtendo um sinal mais correto.

Conclui-se ainda que os diagramas de ganho das antenas são fontes confiáveis da qualidade das mesmas, e que podem dar um bom subsídio na escolha das máscaras para as sessões de rastreamento.

Pode-se inferir ainda, com base nos resultados, que a máscara de 15° de elevação deve ser usada quando não se tem garantia da tecnologia das antenas e dos receptores utilizados, pois, conforme o diagrama de ganho da mesma, somente em ângulos muito baixos ocorrem danos significativos ao sinal recebido, com reflexos na qualidade do posicionamento, sendo 10° um bom valor a ser usado na maioria dos casos e abaixo deve-se levar em conta a qualidade e as características da antena.

Conclui-se também que para o ângulo de elevação acima prescrito (15°) o comportamento do ruído tem variação não significativa e pouca influência nas medidas de fase em termos de magnitude. Em situações de elevação muito alta, porém, o ruído pode ser maior que o multicaminho, especialmente em dias quentes, até pela quase inexistência de multicaminho nessas condições (exceto o multicaminho de satélite).

Logo, máscara de 15° ou mais é muito segura, principalmente em termos de ruído e, para um valor de 10° devem-se considerar os fatores citados.

Recomenda-se um estudo mais abrangente com um número maior de tipos de receptores e antenas, com diferentes diagramas de ganho, o que pode subsidiar o trabalho dos usuários em campo. Sugere-se também a quantificação do ruído em termos de medidas de pseudodistância por código.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anon. **Interface Control Document GPS-ICD-200**, with IRN-200B-PR001, Department of the Air Force, July 1, 1992.
- BARBIERI, M. J., **Correlação do ruído, multicaminho e ângulo de elevação nas medidas de fase das portadoras GPS**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004, 57p.
- BROWN, R.G.; HWANG, P.Y.C. **Introducion to Random Signals and Applied Kalman Filtering**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- FARRET, J.C. **O Efeito do Multicaminho Estático nas Medidas da Fase das Portadoras GPS**. Tese de Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.
- FENTON, P. et al., **Novatel's GPS Receiver: The High Performance OEM Sensor of the Future**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 1991, Albuquerque. **Proceedings...**Washington, 1991.p
- GARIN, L.; VAN DIGGELEN, F. e ROUSSEAU, J. **Strobe & Edge Correlator Multipath Mitigation for code**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL, 9, 1996, Kansas City, Missouri. **Proceedings...**: The Satellite Division of the Institute of Navegation, 1997.
- GARIN,L.;e ROUSSEAU, J. **Enhanced Strobe Correlator Multipath Rejection for Code & Carrier**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL, 10, 1997, Kansas City, Missouri. **Proceedings** The Satellite Division of the Institute of Navegation, 1997.
- LANGLEY, R. B.RTK. **GPS Propagation of the: GPS signals** .In: KLUSBERG, A. TEUNISSEN, P. **GPS for geodesy**. Berlin: Editora Verlag, 1996a. p.103-40.
- LANGLEY, R. B. **RTK GPS Receivers and the Observables**.: GPS signals .In: KLUSBERG, A.TEUNISSEN,P. **GPS for geodesy**. Berlin: Editora Verlag,1996b. p.141-74.
- LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. New York: John Wiley & Sons, Inc 1990.
- MOELKER, D-J. **Multiple Antennas for Advanced GNSS Multipath Mitigation and Multiplath Direction Finding**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 10., 1997, Kansas City. **Proceedings**. Kansas City: THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 1997.
- MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. UNESP, 2000, 287p.
- NOVATEL, INC. **Comand Description Manual – section OEM3** – manual number OM-20000026. Disponível em<www.novatel.ca/productmanuals.html> Acesso: 14 agosto. 2002.
- PARKINSON, B.W. et al. **Global Positioning System: Theory and Aplications**.3. ed. Vol. 1. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1996.
- PARKINSON, B.W. et al. **Global Positioning System: Theory and Aplications**.3. ed. Vol. 2. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1996.
- RAY, J.K.; **Use of Multiple Antennas to Mitigate Carrier Phase Multipath in Reference Stations**. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 12., 1999, Nashville. **Proceedings**. Kansas City: THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 1999. p. 269-280.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy – Foundations, Methods and Applications**. New York: Walter Gruyter, 1993.

VAN DIERENDONCK, A. J. FENTON, P.; FORD, T. **Theory and performance of Narrow Correlator Spacing in a GPS Receiver, Navigation.** V. 39, n. 3, 1992.

VAN DIERENDONCK, A. J. GPS Receivers. In: PARKINSON, B. W. e SPILKER, J. J. **Global Positioning System: Theory and Applications.** Cambridge: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. v1.

WEILL, L.R. **Conquering Multipath: The GPS Accuracy Battle.** **GPS World**, p. 59-66, april.1997.

HOFMANN-WELLENHOF, B.H.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global Positioning System Theory and Practice**, 3. ed. New York: Springer-Verlag Wien, 1994.