

## AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE DETECÇÃO E CORREÇÃO DE PERDAS DE CICLOS NA PORTADORA L1

ENIUCE MENEZES DE SOUZA<sup>1</sup>  
JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO<sup>1</sup>  
WAGNER CARRUPT MACHADO<sup>2</sup>

1 - Universidade Estadual Paulista - Unesp  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT  
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP  
eniuce@yahoo.com.br, galera@fct.unesp.br

2 – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE  
Unidade Estadual do IBGE em Santa Catarina/UE-SC  
Gerência de Geodésia e Cartografia - GGC  
wagner.machado@ibge.gov.br

---

**RESUMO** - Para evitar grandes erros na determinação de coordenadas com a utilização de GPS, a perda de ciclos deve ser detectada e corrigida. Dessa forma, neste artigo, pretende-se discutir alguns métodos práticos e mais utilizados para detecção e correção de perdas de ciclos utilizando apenas observações de simples frequência. Na detecção, as triplas diferenças (TD) têm sido muito utilizadas. Em relação à correção, cada perda deve ser corrigida no pré-processamento ou alguma estratégia deve ser adotada no processamento. Em relação ao processamento, pode-se modificar a MVC dos parâmetros (ambigüidades envolvidas) ou introduzir uma nova ambigüidade assim que a perda de ciclos é detectada. Essas possibilidades são discutidas e comparadas neste artigo, bem como os aspectos relacionados à praticidade, implementação e viabilidade de cada uma delas. Foram realizados experimentos utilizando dados com perdas de ciclos simuladas em diferentes satélites e épocas do processamento. Isto permitiu analisar e comparar os resultados das diferentes formas de correção de perdas de ciclos em diversas condições.

**ABSTRACT** – To avoid large errors in the coordinate determination employing GPS, the cycle slips should be detected and corrected. Thus, it will be discussed some practical and more used methods for cycle slips detection and correction using just single-frequency observations. In the detection, the triple differences (TD) have been very used. In relation to the correction, each slip should be removed in the pre-processing or some strategy should be adopted in the processing. In relation to the processing, the MVC of the parameters (involved ambiguities) can be modified or a new ambiguity can be introduced when a cycle slip is detected. These possibilities are discussed and compared in this paper, as well as the aspects related to the practical aspects, implementation and viability of each one. Some experiments were carried out using data with simulated cycle slips in different satellites and epochs of the processing. This allowed analyzing and comparing the results of different ways of cycle slip correction in several conditions.

---

### 1 INTRODUÇÃO

O posicionamento com GPS está sujeito a várias fontes de erro (MONICO, 2000; SEEGER, 2003). Tais erros devem ser considerados no processo de estimação para se obter posicionamento com precisão milimétrica.

No emprego de receptores de apenas uma frequência (portadora L1 e código C/A) o posicionamento relativo em linhas de base curtas tem sido uma estratégia muito utilizada para atenuar os erros comuns às estações envolvidas. Neste contexto, cita-se também, a utilização

de estação de referência virtual (VRS – *Virtual Reference Station*).

Porém, o multicaminho e a perda de ciclo não são reduzidos no posicionamento relativo, pois estes dependem da existência de superfícies refletoras e, na grande maioria dos casos, de obstruções no local de cada estação. Portanto, estes tipos de erro devem receber tratamento específico.

A perda de ciclo contamina todas as observações subsequentes à sua ocorrência e podem causar erros na medida da fase que variam de um a milhares de ciclos.

Por isso é imprescindível a eliminação deste tipo de erro dos dados para obtenção de coordenadas com boa qualidade.

O processo de eliminação das perdas de ciclo geralmente é dividido em duas partes: detecção e correção. Enquanto a primeira visa detectar a ocorrência de perdas de ciclo, bem como identificar a(s) observação(ões) afetada(s), a segunda tem como objetivo determinar seu valor e corrigir as observações contaminadas.

Vários métodos foram propostos para eliminar as perdas de ciclos: wavelets (COLLIN e WARNANT, 1995; KELLER, 2000), filtro de Kalman (LEICK, 1995; KELLER, 2000), sistema inercial (INS – *Inertial Navigation Systems*) em conjunto com filtro de Kalman (COLOMBO *et al.* 1999), filtro adaptativo em conjunto com acelerômetro (ROBERTS *et al.* 2002), TD em conjunto com combinação linear entre as observáveis das duas portadoras (KIM e LANGLEY, 2001) e combinações lineares entre as duas portadoras (BISNATH, 2000). Embora estes últimos sejam os mais comuns, não é possível aplicá-los em dados oriundos de apenas uma frequência.

Este trabalho apresenta uma comparação entre duas estratégias para eliminar a perda de ciclo em dados GPS de simples frequência. Na primeira, a perda de ciclos é tratada através da modificação da Matriz de Variância e Covariância (MVC) da dupla diferença (DD) das ambigüidades envolvendo o satélite que sofreu a perda. Na segunda, ao se detectar a perda de ciclo, uma nova DD de ambigüidades é introduzida como incógnita no processo de estimação, além de manter a antiga.

## 2 INFLUÊNCIA DAS PERDAS DE CICLOS NO POSICIONAMENTO

Diversos métodos de posicionamento relativo têm sido propostos (MONICO, 2000; HOFMANN *et al.*, 2001). O método relativo permite determinar as coordenadas de um ponto desconhecido, no caso estático, ou de um conjunto de coordenadas, no cinemático (móvel), em relação a um ou mais pontos com coordenadas conhecidas.

O posicionamento relativo por satélite GPS com nível de precisão milimétrica está baseado na medida altamente precisa da fase de batimento da onda portadora. A medida da fase de batimento da onda portadora  $\phi_r^s(t)$  é realizada a partir da diferença entre a fase gerada pelo satélite ( $\phi^s$ ), no instante de transmissão do sinal, e sua réplica gerada pelo receptor ( $\phi_r$ ), no instante de recepção do sinal. Apenas uma medida fracionária é obtida, restando um número inteiro de ciclos no instante inicial do rastreamento, denominado de ambigüidade ( $N_r^s$ ). Embora a medida de fase da onda portadora seja altamente precisa, ela está sujeita a diversos erros, tais como os atmosféricos, orbitais etc. Para redução destes erros no posicionamento relativo GPS em linhas de base curtas, é muito usual o emprego das DD de fase da onda portadora

(MONICO, 2000). Uma DD envolve dois receptores ( $i$  e  $j$ ) e dois satélites ( $p$  e  $q$ ) da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\phi_{i,j}^{p,q} &= (\phi_i^p - \phi_j^p) - (\phi_i^q - \phi_j^q) = \\ &= (\Delta\nabla\rho_{i,j}^{p,q} + \Delta\nabla dm_{\phi_{i,j}}^{p,q})/\lambda + \Delta\nabla N_{i,j}^{p,q} + v_{\phi_{DD}} \end{aligned} \quad (1)$$

onde:

- $\Delta\nabla$  é o operador que representa as DD;
- $\rho_r^s$  é a distância geométrica, em metros, entre o satélite  $s$ , no instante de transmissão do sinal, e o receptor  $r$ , no instante de recepção;
- $\lambda$  é o comprimento de onda da portadora L1;
- $dm_{\phi}^s$  é o erro de multicaminho da fase, em metros;
- $\varepsilon_{\phi}^s$  é o erro residual da fase da portadora, em ciclos.

A principal vantagem da DD é que a maioria dos erros comuns aos receptores e satélites é praticamente cancelada. No caso dos erros orbitais e atmosféricos, os mesmos são praticamente eliminados por serem altamente correlacionados em linhas de base curtas (HOFMANN-WELLENHOF *et al.* 1997; MONICO, 2000; SEEBER, 2003). Porém, o multicaminho ( $dm$ ) é o único que não é eliminado, pois depende da geometria entre receptor, satélite e refletor.

A equação de DD é normalmente a observável preferida no processamento de dados GPS envolvendo a fase da onda portadora. Ela parece proporcionar a melhor relação entre o ruído resultante e a eliminação de erros sistemáticos envolvidos nas observáveis originais. Como resultado, se os erros residuais são pequenos, a DD das ambigüidades pode ser solucionada como um valor inteiro (RAY, 2000). Entretanto, essa solução pode ser incorreta se o receptor perder a sintonia com o sinal do satélite. Este problema é chamado de perda de ciclos e pode ocorrer devido a (HOFMANN-WELLENHOF *et al.* 1997; SEEBER, 2003):

- Obstruções causadas por árvores, prédios, montanhas etc, especialmente em aplicações cinemáticas (RTK - *Real Time Kinematic*);
- Ruído do sinal, causado por multicaminho ou cintilação ionosférica, por exemplo;
- Sinais fracos, causados por interferência do sinal ou ângulo de elevação baixo;
- Falha no software do receptor, o que conduz a um processamento incorreto do sinal.

A perda de ciclos causa um salto equivalente a um número inteiro de ciclos nas observações de fase da onda portadora, que pode ser desde um até milhares de ciclos. A parte fracionária da fase não é afetada, apenas o número inteiro de ciclos conforme ilustrado na Figura 1.

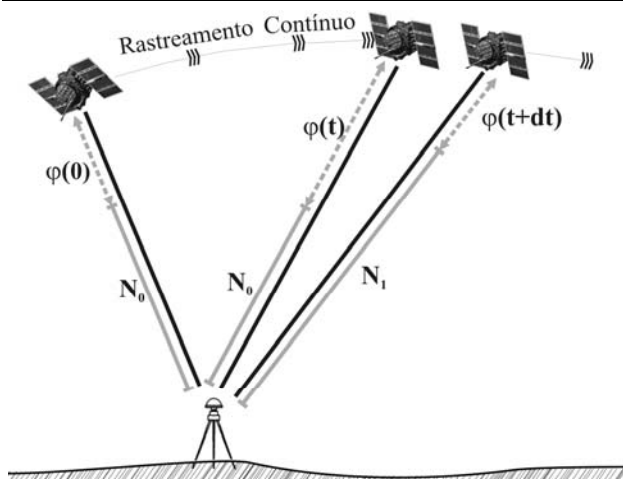


Figura 1 – Ilustração de uma perda de ciclos ocorrida na época  $t+dt$ . Enquanto o rastreamento é contínuo, a ambigüidade  $N_0$  é a mesma. Após uma perda este número inteiro de ciclos é alterado ( $N_1$ ).

Fonte: Adaptado de KELLER, 2004.

Para evitar erros grandes na determinação das coordenadas dos pontos de interesse, a perda de ciclos deve ser detectada e corrigida, principalmente no RTK, devido à alta dinâmica do receptor e as freqüentes obstruções do sinal. Dessa forma, pretende-se discutir alguns métodos práticos e mais utilizados para detecção e correção de perdas de ciclos utilizando apenas dados de simples freqüência. Alguns métodos, tais como as triplas (TD) e tetras diferenças, são discutidos na seção 3 para detecção de perdas de ciclos. Em relação à correção, cada perda deve ser removida no pré-processamento ou alguma estratégia deve ser adotada durante o processamento. Essas possibilidades são apresentadas na seção 3.

### 3 ESTRATÉGIAS DE DETECÇÃO E CORREÇÃO DE PERDAS DE CICLOS NO RTK

Na ausência de perda de ciclos, o comportamento de uma série temporal das medidas da fase de batimento da onda portadora, e suas diferenciações, deve ser contínuo. Um salto súbito na curva indica a ocorrência de perda de ciclos.

Se uma perda ocorre na observação de fase na estação  $i$  e satélite  $j$  em uma época  $t$ , todas as DD são afetadas a partir da época  $t$ , enquanto apenas uma TD é corrompida, a que envolve o satélite  $j$  na época  $t$ . Este procedimento é representado na Figura 2.

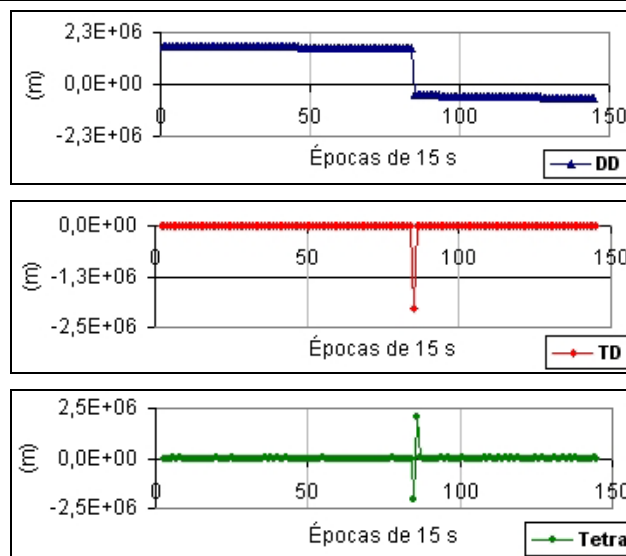


Figura 2 – Dupla, Tripla e Tetra Diferenças das observações de fase. Ilustração de uma perda de ciclos na época 84. Todas as DD são afetadas a partir da época 84, enquanto apenas uma TD é corrompida nesta época.

Conforme ilustrado na Figura 2, um salto na série temporal da TD, por exemplo, indica a ocorrência de perdas de ciclos. Existem alguns métodos para identificar tais saltos (KIM e LANGLEY, 2001). Pode-se utilizar um modelo dinâmico baseado no Filtro de Kalman ou *Wavelets* (KELLER, 2004) para prever observações subseqüentes. A comparação entre as observações previstas e observadas indica perdas de ciclos. A correção de perdas de ciclos também pode ser feita com o auxílio de outros sensores, especialmente, INS. Colombo *et al.* (1999) mostrou que até com sensores INS de baixo custo pode-se obter bons resultados, dependendo do tipo de aplicação, do comprimento da linha de base e da acurácia do INS. Outra solução utiliza um filtro adaptativo e combinações entre dados de fase e pseudodistância (ROBERTS *et al.*, 2002). Existe também a solução baseada em combinações lineares entre as observáveis das duas freqüências (BISNATH, 2000).

Uma outra possibilidade amplamente empregada é utilizar um esquema de quatro (tetra) diferenças, ilustrada na Figura 2, porque as discontinuidades ficam mais acentuadas em séries de diferenças de ordem mais alta. Um salto na tetra diferença, além da detecção da perda de ciclo, refere-se ao valor aproximado dessa perda.

Uma vez detectada, é imprescindível corrigir tais perdas de ciclos ou adotar algum procedimento/estratégia para que os resultados do processamento não sejam afetados.

Uma possibilidade refere-se a modificar a MVC dos parâmetros quando ocorre uma perda de ciclos. Neste caso, na prática, deve-se atribuir um valor grande a variância da DD de ambigüidades que envolve o satélite em que ocorreu a perda de ciclos na MVC. Neste procedimento, adotou-se como referência o valor aproximado da perda de ciclos obtido na tetra diferença. Este valor, escalonado por 3, foi considerado o novo

desvio padrão da referida DD de ambigüidade. As correlações com os outros parâmetros foram negligenciadas, o que significa zerá-las.

Outra técnica muito utilizada é introduzir uma nova DD de ambigüidades na mesma época em que a perda de ciclos for detectada.

A primeira alternativa é mais simples de ser implementada visto que apenas a MVC dos parâmetros é alterada. A segunda opção, embora também simples, requer mais “cuidados” na implementação, principalmente em relação à dimensão de vetores e matrizes no caso de muitas perdas em várias épocas durante o processamento.

Essas duas possibilidades foram implementadas no *software* GPSeq, em desenvolvimento na UNESP, Presidente Prudente (MONICO *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2006). Neste *software*, os dados são processados em um ajustamento recursivo, permitindo a determinação de coordenadas com a utilização de posicionamento cinemático ou estático.

#### 4 EXPERIMENTOS

Para verificar e comparar o desempenho das estratégias de detecção e correção de perdas de ciclos apresentadas, foi realizado um experimento envolvendo diversos cenários com possíveis perdas de ciclos simuladas. É muito importante que sejam utilizados dados simulados neste procedimento para que nenhum outro tipo de erro possa prejudicar as análises. O simulador de dados GPS desenvolvido por Mohino *et al.* (2005) foi adaptado para gerar perdas de ciclos.

A estação PPTE, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), foi utilizada como base. Uma linha de base de aproximadamente 2 km foi formada com dados simulados de uma estação em Presidente Prudente, denotada por TAK, cujas coordenadas são conhecidas de campanhas anteriores.

As perdas de ciclos foram simuladas em um intervalo de 50 épocas com taxa de observação de 15 s. As perdas de ciclos foram introduzidas em diferentes períodos no processamento das 50 épocas. Este procedimento é importante porque uma certa perda de ciclos pode afetar os resultados de diferentes formas, dependendo do momento em que esta ocorreu durante o processamento. Assim, foram analisados os casos em que a perda ocorreu no início (época 5), no meio (época 25) e no fim do processamento (época 45), conforme apresentado na Tabela 1. Além disso, os resultados serão apresentados em duas etapas. Na primeira delas, as perdas de ciclos foram simuladas em apenas um satélite (PRN). Entretanto, podem ocorrer perdas em mais de um satélite por época. Logo, na etapa 2 foram simuladas diferentes perdas para três satélites em uma mesma época (Quadro 1).

	PRN	Ciclos	Época	Período
<b>Etapa 1: Perda em apenas um PRN na mesma época</b>	1	2	5	Início
			25	Meio
			45	Fim
	1	5	5	Início
			25	Meio
			45	Fim
	1	10	5	Início
			25	Meio
			45	Fim
<b>Etapa 2: Perda em 3 PRNs na mesma época</b>	1	3	15	Início
	3	1		
	14	2		

Quadro 1 – Perdas de Ciclos Simuladas.

#### 4.1 Etapa 1: Perdas apenas em um PRN

Com o intuito de verificar a magnitude dos erros nas coordenadas quando perdas de ciclos não são corrigidas, as coordenadas obtidas no processamento dos dados foram comparadas com as conhecidas da estação TAK. Na Figura 3 são apresentadas as resultantes 3D das discrepâncias entre as coordenadas para o caso de perdas apenas em um satélite.

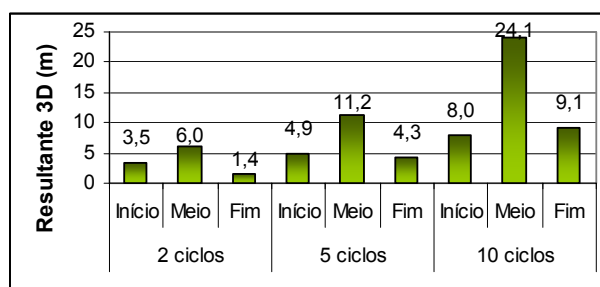
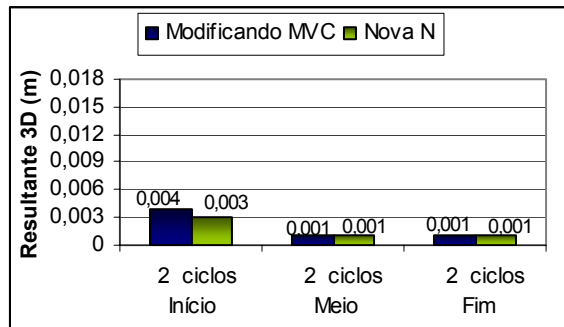


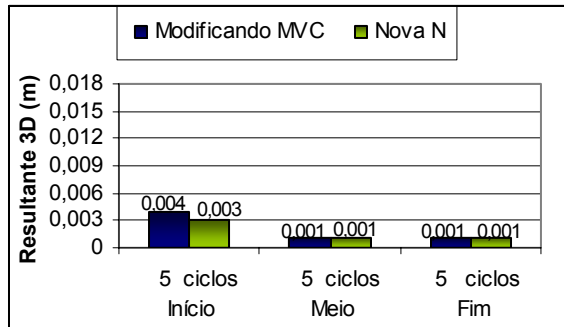
Figura 3 – Resultante 3D das coordenadas sem correção das perdas de ciclos simuladas para o PRN 1.

Observa-se a partir da Figura 3 que se as perdas de ciclos foram negligenciadas no processamento, pode-se obter até 24 m de erro na resultante das coordenadas. Nota-se, de acordo com a Figura 3, que quando a perda de ciclo ocorre no meio do processamento, os resultados são mais prejudicados. Em geral, quando uma perda de ciclos ocorre no final, a ambigüidade já está bem determinada, não afetando os resultados de forma acentuada.

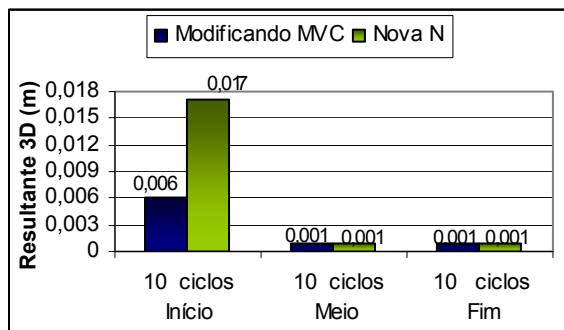
Após aplicar as duas estratégias descritas na seção 3 para correção das perdas, os resultados foram comparados (Figura 4).



(a)



(b)



(c)

Figura 4 – Resultante 3D das coordenadas com correção das perdas de ciclos simuladas para o PRN 1.

Verifica-se a partir da Figura 4 que as duas estratégias aplicadas reduziram bastante os erros devido às perdas de ciclos. No caso dos 10 ciclos perdidos, reduziu-se de 24 m (Figura 3) de erros para apenas 0,001m (Figura 4c). Entretanto, com a estratégia de modificar a MVC dos parâmetros, as discrepâncias não ultrapassaram 0,006m. Já introduzindo uma nova ambigüidade no processamento, obteve-se até 0,017m na resultante das discrepâncias das coordenadas.

Para comparar a qualidade das observações, antes e após a correção das perdas de ciclos, utilizou-se o teste estatístico *Global Overall Model* (GOM) (TEUNISSEN, 1998a). Os valores obtidos com esta análise sem a correção das perdas de ciclos podem ser vistos na Figura 5.

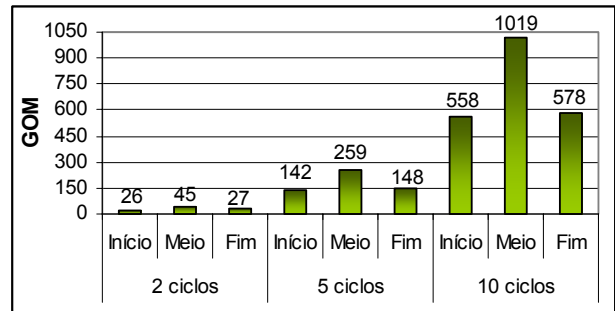
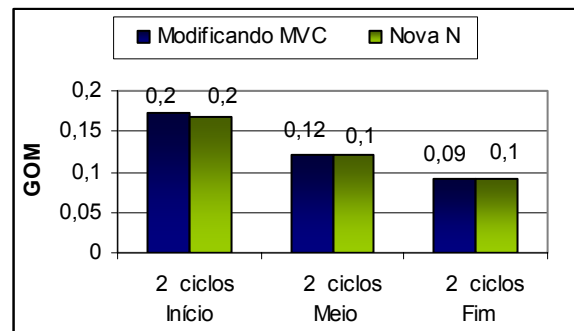


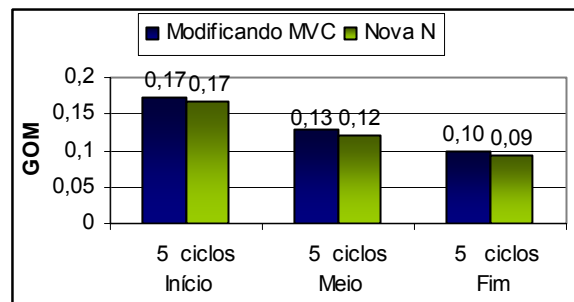
Figura 5 – Teste Estatístico GOM sem correção das perdas de ciclos simuladas para o PRN 1.

Quanto maior o valor do GOM, tem-se indicativos de mais presença de erros nas observações. A partir da Figura 5, observa-se que quanto maior a perda, maior o valor do teste GOM, conforme esperado.

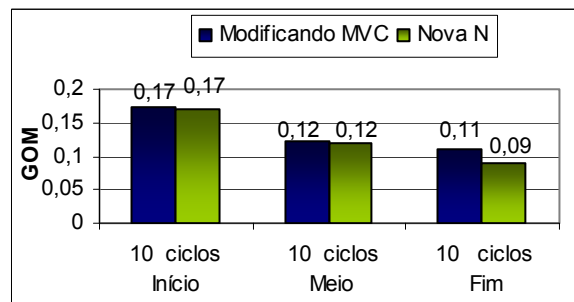
Após aplicar as duas estratégias descritas para correção das perdas, os valores do teste GOM são comparados na Figura 6.



(a)



(b)



(c)

Figura 6 – Teste Estatístico GOM com correção das perdas de ciclos simuladas para o PRN 1.

Verifica-se a partir da Figura 6, que o valor do teste estatístico GOM para as estratégias de modificar a MVC e abrir uma nova ambigüidade na mesma época em que ocorreu a perda de ciclos foi muito bom. Em geral, estes valores não deveriam ser tão pequenos, mas isso ocorreu devido ao fato dos dados terem sido simulados sem as influências de efeitos que prejudicam as observações.

Com o intuito de verificar a confiabilidade da solução das ambigüidades, as Figuras 7 e 8 apresentam os valores do teste estatístico *Ratio* (TEUNISSEN, 1998b) sem e com correção das perdas de ciclos, respectivamente.

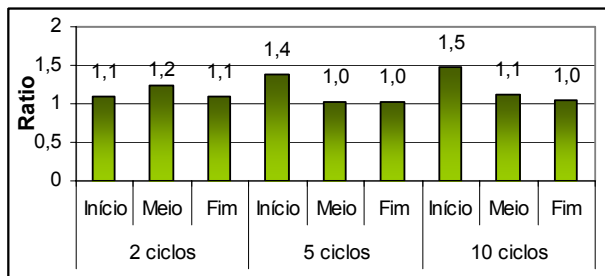
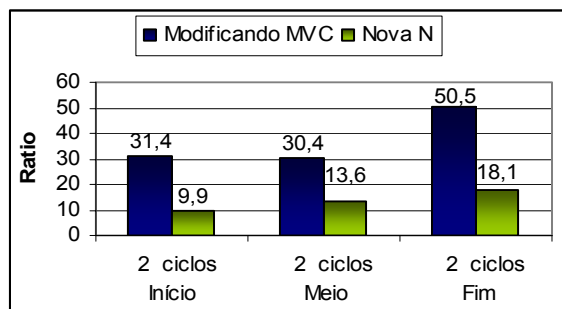
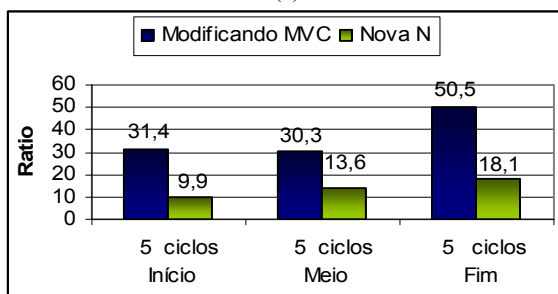


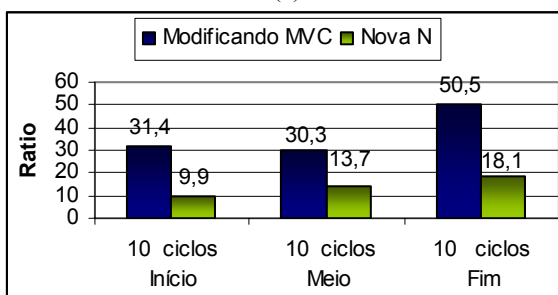
Figura 7 – Teste *Ratio* sem correção das perdas de ciclos simuladas para o PRN 1.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 – Teste *Ratio* com correção das perdas de ciclos simuladas para o PRN 1.

Sabe-se que quanto maior o valor do teste *Ratio*, maior a probabilidade do vetor das ambigüidades ter sido solucionado corretamente (TEUNISSEN, 1998b). Pode-se verificar a partir da Figura 7 que a solução das ambigüidades sem a correção da perda de ciclos não está confiável, pois os valores estão muito próximos de 1.

A partir da Figura 8, verifica-se que os valores do teste *Ratio* melhoraram muito, indicando que a solução das ambigüidades está muito mais confiável após a correção das perdas de ciclos. Comparando as duas estratégias adotadas, têm-se resultados melhores para o caso em que a MVC parâmetros foi modificada.

#### 4.2 Etapa 2: Perdas em 3 satélites na mesma época

Sabe-se que, em geral, podem ocorrer diversas perdas em uma mesma época. Neste sentido, foram simuladas 3 perdas de ciclo em satélites diferentes, conforme apresentado no Quadro 1, para verificar e comparar o desempenho das estratégias adotadas na correção das perdas de ciclo. Os resultados são apresentados na Figura 9.

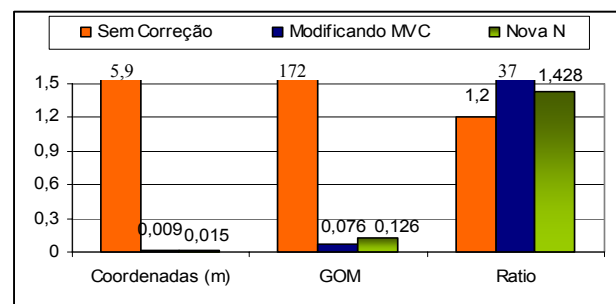


Figura 9 – Comparação dos resultados com e sem a correção das perdas em três satélites na mesma época.

Conforme ilustrado na Figura 9, pode-se verificar que os erros nas coordenadas foram drasticamente reduzidos após a correção das perdas de ciclo. Os testes estatísticos GOM e *Ratio* também indicaram a eficiência dessas estratégias na correção das perdas de ciclo. Mas comparando as duas estratégias, novamente a estratégia de modificar a MVC dos parâmetros proporcionou os melhores resultados.

#### 5 CONCLUSÕES

Neste artigo, foi discutido o problema das perdas de ciclos no posicionamento GPS com receptores de uma frequência, bem como a importância da detecção e correção das mesmas. Os experimentos foram realizados com dados simulados, o que é muito importante para comparar os resultados de situações diversas e controladas.

Foram propostas duas estratégias práticas de correção das perdas de ciclos para o caso em que se tem apenas observações de simples frequência, o que torna a correção das perdas mais difícil. Essas estratégias, as quais envolvem modificar a MVC dos parâmetros (DD de

ambigüidades que envolve o satélite que sofreu a perda) ou introduzir uma nova DD de ambigüidades quando a perda é detectada foram analisadas e comparadas. Foi verificado que ambas as estratégias foram eficientes para corrigir os erros provenientes das perdas de ciclos. Entretanto, quando a MVC dos parâmetros é modificada, os resultados ficaram evidentemente melhores em termos de acurácia de coordenadas, solução das ambigüidades (*Ratio*) e indicativos de qualidade dos resultados (GOM).

Trata-se de um resultado muito interessante, visto que a estratégia de modificar a MVC é muito mais prática em termos de implementação. Quando uma nova DD de ambigüidades é introduzida no processamento, dependendo da implementação, problemas com dimensão de vetores e matrizes podem ocorrer quando muitas perdas de ciclo estiverem presentes no conjunto de observações.

Além disso, verificou-se também que a detecção das perdas de ciclos utilizando as TD e Tetra diferenças foi eficiente. Todas as perdas de ciclos simuladas nos experimentos foram corretamente detectadas.

Embora não tenha sido apresentado neste artigo, foram processados dados reais com perdas de ciclos detectadas pelas TD e Tetra e os resultados foram muito bons. A estratégia de correção de perdas modificando a MVC também apresentou os melhores resultados. Entretanto, quando a perda de ciclos ocorre no satélite base, todas as DD são influenciadas e o desempenho das estratégias apresentadas não é tão eficiente. Mas, devido ao fato do satélite escolhido como o base ser sempre o de maior ângulo de elevação, dificilmente sofrerá perdas de ciclos e os resultados não serão prejudicados.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho está sendo desenvolvido com apoio da FAPESP (Processo 03/12770-3) mediante atribuição de bolsa de doutorado à primeira autora.

## REFERÊNCIAS

- BISNATH, S. B. Efficient, Automated Cycle-Slip Correction of Dual-Frequency Kinematic GPS Data. In: ION GPS 2000, 13, Salt Lake City, EUA, **Proceedings of...**, 2000, p. 145-154. Disponível em: <http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/iongps2000.bisnath.pdf> Acesso em 29/03/2007.
- COLOMBO, O.L.; BHAPKAR, U.V.; EVANS, A.G. Inertial-Aided Cycle-Slip Detection/Correction for Precise, Long-Baseline Kinematic In: **ION GPS**, 12, Nashville, Tennessee, **Proceedings of...**, p. 1915-1921, 1999.
- COLLIN, F.; WARNANT, R. Application of the wavelet transform for GPS cycle slip correction and comparison with Kalman Filter, **Manuscripta Geodaetica** - V. 20, p.161-172, 1995.
- KELLER, W. **Wavelets in Geodesy and Geodynamics**, Walter de Gruyter, 2004, 279 p.
- KIM, D.; LANGLEY, R. B. Instantaneous Real-time Cycle-slip Correction of Dual frequency GPS Data. In: KIS 2001, Banff, Canada, **Proceedings of...** Disponível em: <http://gge.unb.ca/Personnel/Kim/documents/KIS.2001.KIM.pdf>. Acesso em 29/03/2007.
- LEICK A. **GPS Satellite Surveying**, New York, John Wiley & Sons, 1995. 560p.
- MACHADO, W.C; MONICO, J.F.G. Utilização do software GPSeq na Solução rápida das ambigüidades GPS no Posicionamento Relativo Cinemático de Bases Curtas. **Pesquisas em Geociências**, V. 29 (2), p. 89-99, 2002.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS Theory and Practice**. 4.ed. Wien: Springer-Verlag, 1997. 326p.
- RAY, J.K. **Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects Using a Multi-Antenna System**. 2000. 260f. PhD Thesis - University of Calgary, Calgary.
- SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 586p.
- SOUZA, E. M., POLEZEL, W.G.C., MONICO, J.F.G., MACHADO, W.C. GPSEQ: *Software* Gratuito para Posicionamento Relativo GPS Envolvendo Linhas de base curtas. INFO GPS/GNSS, 2006.
- MONICO, J.F.G., SOUZA, E.M., POLEZEL, W.G.C., MACHADO, W.C. **GPSeq Manual**, 2006. Disponível em: <http://gege.prudente.unesp.br>. Acesso em 16/04/2007.
- MOHINO, E.; GENDE, M; BRUNINI, C.; HERAIZ M. . SIGOG: Simulated GPS Observation Generator. **GPSolutions**, V.9, n.3, 2005.
- ROBERTS, G. W.; MENG, X.; DODSON, A. H. Using Adaptive Filtering to Detect Multipath and Cycle Slips in GPS/Accelerometer Bridge Deflection Monitoring Data. In: XXII INTERNATIONAL CONGRESS OF THE FIG, Washington DC, USA, **Proceedings of...**, 2002. Disponível em: [https://www.fig.net/pub/fig\\_2002/TS6-2/TS6\\_2\\_roberts\\_meng\\_dodson.pdf](https://www.fig.net/pub/fig_2002/TS6-2/TS6_2_roberts_meng_dodson.pdf). Acesso em 16/04/2007.
- TEUNISSEN, P. J. G. Quality Control and GPS. In: TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. 2 ed. Berlin: Springer Verlage, 1998a, p. 271-318.
- TEUNISSEN, P. J. G. GPS Carrier Phase Ambiguity fixing concepts. In: TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. 2 ed. Berlin: Springer Verlage, 1998b, p. 319-388.