

# ANÁLISE DA ACURÁCIA NOS POSICIONAMENTOS DIFERENCIAIS APLICANDO AS TÉCNICAS DGPS E RTK

**Alexandre do Prado  
Cláudia Pereira Krueger**

**Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências da Terra  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas  
Caixa Postal 19001, CEP 81531-970, Curitiba, Paraná, Brasil.  
{aleprado, ckrueger}@cce.ufpr.br**

## RESUMO

As técnicas de posicionamento em tempo real partem do princípio de que os erros cometidos na estação de referência são, na sua grande maioria, os mesmos apresentados na estação móvel. Contudo, à medida que a distância entre estas estações aumenta, os erros que anteriormente eram semelhantes, passam a ser cada vez mais não correlacionados. Em consequência deste processo, ocorre uma degradação progressiva em posição. O escopo principal deste trabalho é fundamentado no estudo da acurácia posicional nas técnicas DGPS e RTK. A principal diferença entre estas técnicas refere-se basicamente ao tipo de observável GPS. Na técnica DGPS aplica-se o código, enquanto na técnica RTK utiliza-se a unicamente a fase da portadora. Visando atingir este objetivo escolheu-se dez estações teste, cujos comprimentos das linhas de base variam entre 0,2 a 29 Km. Com os resultados obtidos nesta pesquisa não foi possível definir com fidelidade o valor da correlação espacial para as técnicas DGPS e RTK. Porém, constatou-se que para estas linhas de base, o DGPS possibilitou erros planimétricos inferiores a 2,5 m, ao passo que na técnica RTK estes erros não ultrapassaram a 7 cm. Com respeito aos erros altimétricos, verificou-se que os mesmos são inferiores a 6 m na técnica DGPS e a 15 cm na técnica RTK.

**Palavras chaves:** Posicionamento em Tempo Real, DGPS, RTK.

## ABSTRACT

The real time positioning techniques rely on the fact that errors in the reference station are, in its great majority, the same ones found in the rover station. However, while the distance between stations is increased, the errors which were analogous before become more and more uncorrelated. Because of this process, there is a progressive degeneration in position fix. The main objective of this work is fundamented in studying the positioning accuracy for DGPS and RTK techniques. The main difference among these techniques refers to GPS observation. The DGPS technique applies the pseudorange and in the RTK technique uses carrier phase for your solutions. Aiming to accomplish this objective ten test stations have been chosen, with baseline lengths varying from 0,2 to 29 Km. It was not possible, using results obtained in this research, to determine the spatial correlation value for DGPS and RTK techniques. However, it has been found that for these baselines, DGPS made planimetric errors smaller than 2,5 m possible, while errors using the RTK technique were smaller than 7 cm. Regarding altimetric errors, it has been verified that those were smaller than 6 m using DGPS technique, and smaller than 15 cm using RTK technique.

**Keywords:** Real time positioning, DGPS, RTK.

## 1. INTRODUÇÃO

Em linhas gerais, o GPS pode ser empregado na navegação ou para fins de cartografia. Na navegação (seja ela de característica marítima, terrestre ou aérea) existe a necessidade proeminente de se conhecer a posi-

ção do “veículo” em tempo real. Já na maioria dos levantamentos cartográficos, os dados coletados em campo são tratados *a posteriori* em um processo conhecido por “pós-processamento”. Entretanto, existem aplicações cartográficas (p.ex. levantamentos hidrográficos ou vôo aerofotogramétrico apoiado) que requerem a deter-

minação dos pontos de interesse em tempo real. De modo a atender a estes usuários, foram desenvolvidas nas últimas décadas algumas técnicas de posicionamento GPS, dentre elas destacam-se o DGPS, o WADGPS (*Wide Area DGPS*), o RTK (*Real Time Kinematic*) e o PDGPS (*Precise DGPS*). O princípio básico destas técnicas consiste no posicionamento em tempo real de uma estação móvel através das “correções diferenciais” geradas na(s) estação(ões) de referência(s) (KRUEGER, 1996, p.52). Porém, a validação destas “correções diferenciais” torna-se menos efetiva a medida que aumenta a separação entre as estações móvel e de referência, degradando progressivamente a qualidade do posicionamento (BRIONES, 1999, p.02).

Com o presente trabalho visa-se a análise da acurácia posicional nas técnicas DGPS e RTK. Para tal, foi estabelecido um conjunto de doze estações distribuídas na área urbana do município de Curitiba (PR) e ao longo da rodovia BR-277 em direção ao município de Campo Largo (PR). A primeira etapa desta pesquisa consistiu na determinação precisa das coordenadas destas estações através de levantamentos estáticos. A segunda etapa fundamentou-se na realização dos levantamentos DGPS e RTK, sendo que as soluções obtidas com estas técnicas foram comparadas com as coordenadas de referência estabelecidas na primeira etapa.

## 2. POSICIONAMENTO EM TEMPO REAL

Primeiramente, ao se trabalhar com um posicionamento em tempo real o usuário pensará indubitavelmente no método Absoluto, ou seja, na adoção pura e simples de apenas um receptor GPS para a determinação das coordenadas tridimensionais de uma estação. Porém, em virtude da ação dos efeitos atmosféricos (troposfera e ionosfera) e do alto ruído da observável (códigos), o usuário deverá estar operando dentro de um nível de acurácia de 5 a 25 metros, o que torna restrito a aplicação deste método apenas para fins de navegação.

Logo, visando contornar os inconvenientes do posicionamento Absoluto e, por conseguinte possibilitar a determinação de coordenadas de forma acurada em tempo real é que surgiram as técnicas DGPS e RTK.

O princípio básico destas técnicas vale-se do fato que duas estações que simultaneamente rastreiam os mesmos satélites têm seus erros, dentro de certos limites correlacionados. A ocupação de uma estação de coordenadas conhecidas (estação de referência) possibilitará a quantificação dos erros inerentes ao posicionamento Absoluto. Estes erros transmitidos à estação móvel como correções, designadas comumente por “correções diferenciais”, serão utilizadas para posicioná-la relativamente à estação de referência em tempo real (Fig. 1). Salienta-se que as correções diferenciais são transmitidas através de um enlace (link) de comunicação em um formato apropriado estabelecido pela *Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committee 104* (RTCM SC-104).

A principal diferença entre as técnicas DGPS e

RTK refere-se basicamente ao tipo de observável. Na primeira aplica-se o código e/ou código suavizado pela fase da portadora, enquanto na segunda utiliza-se a unicamente a fase da portadora (KRUEGER, 1996, p.52-59) e (LANGLEY, 1995, p.71).

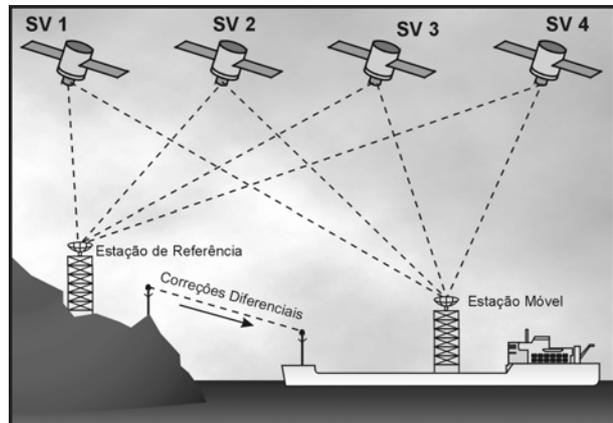


Fig. 1 – Posicionamento em Tempo Real

## 3. PARTICULARIDADES DA TÉCNICA RTK

O princípio de posicionamento da técnica RTK fundamenta-se na transmissão das medições puras da fase da portadora ou das correções diferenciais da fase da portadora, ambas mensuradas na estação de referência. Na primeira situação, a estação móvel forma duplas diferenças de fase (DDF), enquanto na segunda adota-se uma abordagem similar à técnica DGPS. A vantagem da utilização das DDF com respeito às correções diferenciais de fase corresponde a uma modelagem mais adequada ao levantamento, bem como da eliminação dos relógios dos satélites e dos receptores.

Segundo FFOULKES-JONES e CONSADIER (1995, p. 1501) a única forma de se manter a acurácia posicional na técnica RTK, tanto para a utilização das medições puras da fase da portadora quanto para as correções diferenciais, é processar as medidas observadas simultaneamente. Porém, sabe-se que devido à necessidade da transmissão de dados através de um enlace de comunicação isto não ocorre na prática. A diferença de tempo correspondente ao cálculo das correções diferenciais e da medição pura da fase da portadora, na estação de referência, da transmissão destas informações e da sua aplicabilidade na estação móvel é denominado de latência. Esta, por sua vez, será função do número de satélites rastreados e da taxa de transmissão das mensagens diferenciais.

Duas técnicas podem ser aplicadas para reduzir a degradação na acurácia devida a latência. A primeira é chamada por EL-MOHAFY (2000, p.49) de *Synchronized Approach*. Nesta, a estação móvel armazena as suas medidas da fase da portadora e espera um instante de tempo  $t$  (decorrente do efeito da latência) para combinar os seus dados com aqueles oriundos da estação de referência. Isto significa que as coordenadas da estação móvel são calculadas poucos segundos após a coleta dos dados. Esta aproximação é apropriada em

aplicações “semicinemáticas”, nas quais ocupa-se um ponto por poucos segundos. A outra alternativa é dada por um algoritmo de predição da fase da portadora da estação de referência, funcionando semelhantemente ao fator RRC aplicado nas pseudodistâncias de código. Para maiores detalhes ver em RTCM V2. 2 (1998).

#### 4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para atender ao objetivo deste trabalho foram escolhidos 12 (doze) pontos (Fig. 2), sendo que dois deles (PARA e RM03) pertencem a Rede SIRGAS. Eles foram utilizados nestes levantamentos como sendo as estações de referência: o marco PARA nos posicionamentos estáticos e o marco RM03 nos posicionamentos em tempo real. Os demais pontos encontram-se distribuídos na área urbana do município de Curitiba (PR) e ao longo da rodovia BR-277 em direção ao município de Campo Largo (PR), e serão denominados de ora vante “estações teste”.

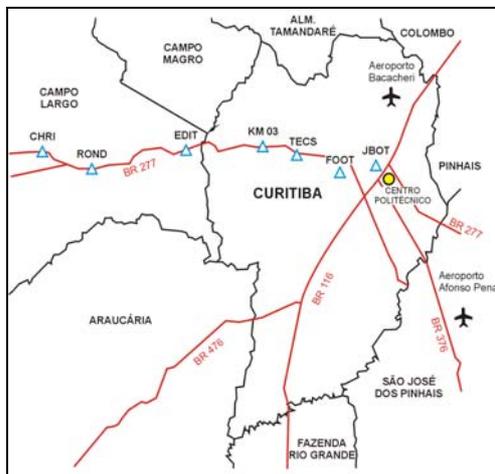


Fig. 2 – Visualização da Área Teste

Nota: no Centro Politécnico encontram-se materializadas as estações PARA, RM03, AZMT, PIL2 e PIL3.

Na Tabela 1 estão indicados a identificação das estações e o respectivo comprimento da linha de base (CLB).

TABELA 1: IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES E CLB

Nome da Estação	ID	CLB (Km)
PARA	PARA	BASE
RM03	RM03	BASE
AZIMUTE	AZMT	0,2
PILAR2	PIL2	0,9
PILAR3	PIL3	1,1
J. BOTANICO	JBOT	1,5
FOOTBAR	FOOT	4,0
TECS	TECS	8,0
COPEL	KM03	11,0
EDITORA	EDIT	17,0
RONDINHA	ROND	25,0
CHRISLER	CHRI	29,0

Apesar da grande maioria das estações estarem

inseridas dentro de um contexto urbano tentou-se evitar ao máximo a existência de obstruções e objetos refletoras nas suas proximidades.

#### 5. LEVANTAMENTOS REALIZADOS

##### 5.1 Levantamentos Estáticos

Em virtude da inexistência de coordenadas pré-teritas para as estações “teste” e, por conseguinte de um padrão de referência, com o qual as soluções obtidas nos posicionamentos com as técnicas DGPS e RTK pudessem ser comparadas, procedeu-se à ocupação das mesmas a partir de dois levantamentos estáticos, totalizando um período de seis horas de rastreamento. Foram empregados receptores geodésicos de dupla frequência das marcas Trimble 4000SSI e Ashtech Z-XII, com uma taxa de gravação de dados de 15 s. Adotou-se também um ângulo de elevação (máscara) de 15° para minimizar as degradações devido à troposfera e ao efeito do multicaminho.

##### 5.2 Levantamentos DGPS

Nestes levantamentos, as estações “teste” foram ocupadas mantendo uma antena GPS estacionária por um período de 15 minutos, sendo adotado como estação de referência o marco RM03.

Na estação de referência foram instalados um receptor geodésico da marca ASHTECH Z-XII e um rádio transmissor de 35W. O receptor GPS ficou responsável pela recepção dos sinais dos satélites GPS e pelo cálculo das correções diferenciais. Neste caso, as correções diferenciais foram determinadas a partir de um algoritmo de suavização, aplicando apenas os dados referentes à portadora  $L_1$ . A função do rádio transmissor foi a de enviar e de disponibilizar estas correções diferenciais no formato RTCMV2. 0 através de uma onda de rádio (VHF/UHF).

A estrutura instalada nas estações teste é praticamente a mesma daquela empregada na estação de referência. Foi utilizado também um receptor da marca ASHTECH Z-XII para a recepção dos sinais dos satélites GPS, para o cálculo das pseudodistâncias e para a adição das correções diferenciais calculadas na estação de referência nestas pseudodistâncias. O enlace de comunicação consistiu de um rádio receptor de 2W.

Deste processo resultou um arquivo texto (ASCII) contendo a mensagem “GPGGA” formatada no padrão NMEA. Cada sentença desta mensagem foi descarregada, em tempo real, em um *notebook* via porta serial. Para maiores detalhes sobre as mensagens NMEA recomenda-se ASHTECH *Inc.* (1994, p.157).

Ao observar a estrutura da mensagem “GPGGA” verifica-se que a altitude elipsoidal disponível é dada ao nível do metro. Tal restrição torna pouco consistente a análise altimétrica das soluções DGPS. Para contornar este inconveniente passou-se a anotar a cada 10 seg a altitude elipsoidal, ao nível do centímetro, diretamente da tela “2” do próprio receptor. Para o pri-

meio levantamento DGPS a mensagem “GPGGA” foi coletada a cada 10 seg, mantendo-se assim uma consistência entre as informações planimétricas e as altimétricas. Para o segundo levantamento DGPS a aquisição da mensagem “GPGGA” foi realizada a cada 1 seg e sendo mantida a cada 10 seg a captura da altitude elipsoidal da tela do receptor. Na tabela 2 resume-se os procedimentos adotados em campo durante os levantamentos DGPS.

TABELA 2 – LEVANTAMENTOS DGPS

Rastreio	Ocupação	Mensagem GPGGA	Registro da Altimetria
Primeiro	15 min	10 seg	10 seg
Segundo	15 min	1 seg	10 seg

### 5.3 - Levantamentos RTK

A estratégia de ocupação das estações “teste” no levantamento RTK foi semelhante aquela aplicada nos levantamentos DGPS, ou seja, manteve-se uma antena GPS estacionária, por um período aproximado de 15 minutos, sobre estas estações. A estação RM03 foi também adotada como estação de referência. A única variante diz respeito à coleta dos dados. Nos levantamentos DGPS, os dados NMEA foram coletados sem interrupção, enquanto nos levantamentos RTK as soluções eram sempre “reinicializadas” após a resolução das ambigüidades inteiras. Ao se proceder esta “reinicialização” a solução inicialmente é compatível com os padrões obtidos pelo método absoluto e em seguida com as fornecidas por uma solução *float*, até que as ambigüidades sejam fixadas novamente. Logo, pode-se estudar também o tempo de fixação das ambigüidades inteiras (TTFA) à medida que a distância entre as estações de referência e móvel aumenta.

Uma das diferenças marcantes entre os levantamentos DGPS e RTK, além logicamente do tipo de observável empregada, refere-se ao cálculo das correções diferenciais. Nos levantamentos DGPS, as correções diferenciais, no formato RTCM V2. 0, eram computadas diretamente por um módulo interno do receptor GPS, empregando um algoritmo de suavização. Já para os levantamentos RTK foi empregado o programa GN-RT para o cálculo das correções diferenciais da fase da portadora, seguindo a formatação RTCM++ (WÜBBENA *et al.*, 1996) e (KRUEGER, 1996). De uma forma geral, o levantamento RTK realizado neste trabalho contou com uma componente a mais com relação aos levantamentos DGPS, o programa GNREF/GNRT-K. Ele possibilita a determinação acurada da posição de um receptor móvel, em tempo real, através da combinação dos dados brutos da estação de móvel com as correções

diferenciais transmitidas pela estação de referência. Portanto, a função dos receptores GPS de dupla frequência era exclusivamente captar os sinais dos satélites. Com relação aos rádios de comunicação, eles possuíam a mesma finalidade que as prestadas aos levantamentos DGPS, isto é, a transmissão e recepção das correções diferenciais.

O relacionamento entre os diversos componentes que constituíram os levantamentos RTK é mostrado pela Figura 3.

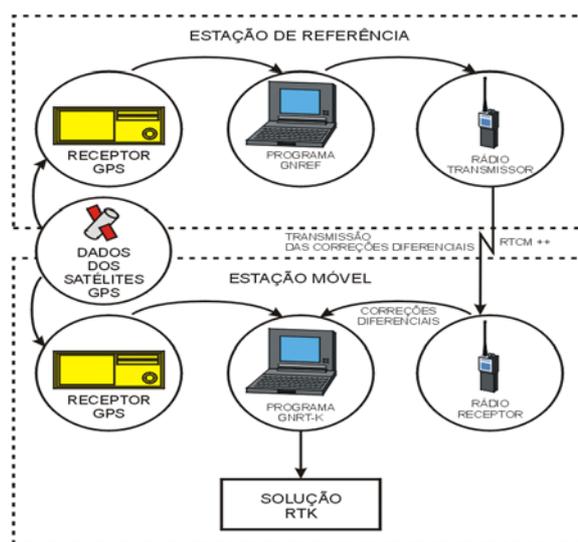


Fig. 3 – Levantamentos RTK

Deste processo resultou um arquivo texto (ASCII - \*.RTK) contendo as coordenadas geodésicas da estação ocupada e um “flag” de tempo, o qual foi útil na determinação do TTFA. Tais informações foram coletadas em um *notebook*, sendo que a gravação de dados foi realizada a cada 1 segundo.

## 6. ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1 - Levantamento Estático

Os dados coletados, conforme descrito na seção 5.1, foram pós-processados no programa científico BERNESE V4. 0, sendo adotado como ponto de referência a estação PARA e aplicada as órbitas precisas do IGS. Para maiores detalhes como proceder a um processamento GPS utilizando este programa recomenda-se ROTACHER e MERVART (1996).

Na tabela 3 encontram-se indicado às coordenadas geodésicas finais ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) das estações teste, o desvio padrão associado a cada componente, o desvio padrão tridimensional resultante e o comprimento real das linhas de base (CLB). Estas coordenadas passam a ser consideradas como referência, permitindo assim, a análise dos resultados obtidos com os levantamentos DGPS e RTK.

TABELA 3 – PROCESSAMENTO ESTÁTICO

ID	$\varphi$ (° “ ”)	$\lambda$ (° “ ”)	h (m)	Desvio Padrão (m)	CLB (m)
	Desvio Padrão (m)	Desvio Padrão (m)	Desvio Padrão (m)		
AZMT	-25 26 48,128610 0,0003	-49 13 53,991092 0,0003	928.3394 0,0006	0,00073	197,959
PIL2	-25 27 15,669427 0,0002	-49 14 11,549405 0,0002	912.3936 0,0006	0,00066	868,968
PIL3	-25 27 23,735375 0,0003	-49 14 14,945731 0,0003	912.3819 0,0007	0,00082	1123,115
JBOT	-25 26 35,199218 0,0004	-49 14 41,036351 0,0005	927.9863 0,0011	0,00127	1503,246
FOOT	-25 27 00,706600 0,0003	-49 16 23,265242 0,0003	906.6903 0,0007	0,00082	4246,740
TECS	-25 26 14,376677 0,0003	-49 18 37,339822 0,0003	925.2468 0,0008	0,00091	8081,348
KM03	-25 25 50,846731 0,0004	-49 20 18,461702 0,0007	941.9537 0,0014	0,00162	10987,837
EDIT	-25 25 58,542683 0,0019	-49 24 04,905515 0,0132	956.5855 0,0047	0,01414	17225,975
ROND	-25 26 50,570655 0,0016	-49 28 42,254513 0,0061	964.9723 0,0044	0,0769	24888,963
CHRI	-25 26 07,030755 0,0019	-49 31 09,310125 0,0123	986.8656 0,0044	0,01320	29034,979

## 6.1 - Levantamento DGPS

### 6.1.1 Primeira Ocupação DGPS

Conforme apresentado na tabela 2, no primeiro levantamento DGPS, a coleta das informações planimétricas e altimétricas foram efetuadas a cada 10 segundos. Com relação à estratégia de rastreamento, instalou-se a antena do receptor GPS sobre as estações “teste”, realizando uma ocupação aproximada de 15 minutos. Ao final de cada coleta dispunha-se de um arquivo no padrão NMEA. Logo, ao término do primeiro levantamento DGPS detinha-se 10 arquivos, sendo um arquivo para cada uma das estações “teste”.

Após a importação destes arquivos pelo programa *Excel*, procedeu-se ao cálculo dos erros planimétricos e altimétricos para cada época (10 seg), sendo confeccionada em seguida, com estes valores, o gráfico correspondente. O gráfico 1 refere-se aos erros planimétricos e altimétricos obtidos para a estação “teste” AZMT. Este gráfico apresenta o eixo das abscissas graduadas em épocas, contemplando por inteiro o período de ocupação de 15 minutos (ou 90 épocas), e o eixo das ordenadas graduado em metros, para a representação conjunta dos erros planimétricos (linha contínua) e altimétricos (linha com quadrados). Em PRADO (2001) encontram-se os gráficos das demais estações “teste”.

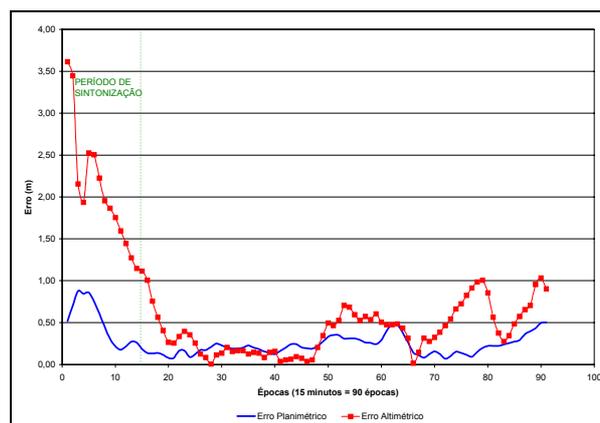


Gráfico 1 – Erro planimétrico e Altimétrico  
1ª Ocupação – Estação AZMT

Primeiramente, ao se realizar uma análise visual do gráfico 1 verifica-se que o comportamento do erro planimétrico ao longo do tempo é muito mais estável do que o apresentado pelo erro altimétrico, ou seja, a variação temporal do erro planimétrico é mais suave do que a do erro altimétrico. Tal comportamento foi evidenciado nas demais estações “teste”. Outra questão de relevância, diz respeito ao chamado “período de sintonização”. Ele corresponde ao intervalo de tempo decorrente do início da coleta de informações (época 0) até aproximadamente a época número 15, abrangendo um período total de tempo de 2 minutos e 30 segundos. No gráfico 1, este período é definido pelo intervalo (espaço) compreendido entre o eixo das ordenadas e a linha tracejada na cor verde. Procedendo-se novamente a uma análise visual do gráfico, verifica-se, de uma forma geral, que a magnitude dos erros plani-

métricos e altimétricos é maior dentro deste “período de sintonização”. Tal afirmação não foi válida apenas para o erro altimétrico na estação “teste” KM03.

Para fundamentar numericamente as análises visuais realizadas anteriormente foram construídas as tabelas 4 e 5. Na primeira, estão apresentados os valores da média aritmética ( $\bar{x}$ ) dos erros planimétricos e os seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ). Nesta mesma tabela observa-se a presença de duas colunas que se reportam às médias aritméticas e duas colunas que se referem aos desvios padrão. Tal formatação foi escolhida para ressaltar a degradação posicional que ocorre ao se aplicar os dados registrados durante o “período de sintonização”. Com respeito à formatação da tabela 5, ela segue os mesmos padrões apresentados pela tabela 4, porém referindo-se agora aos erros altimétricos.

TABELA 4 – LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO ERRO PLANIMÉTRICO

Estação Teste	Média (T)	Média (S15)	Desvio Padrão (T)	Desvio Padrão (S15)
AZMT	0,267	0,223	0,173	0,104
PIL2	0,302	0,292	0,213	0,172
PIL3	0,325	0,267	0,213	0,136
JBOT	0,348	0,295	0,234	0,159
FOOT	1,344	1,077	0,829	0,463
TECS	0,361	0,269	0,265	0,101
KM03	0,218	0,179	0,137	0,090
EDIT	0,409	0,330	0,233	0,160
ROND	0,056	0,052	0,049	0,049
CHRI	0,577	0,571	0,173	0,143

Nota: o índice (T) se refere ao conjunto inteiro de observações; enquanto o índice (S15) refere-se ao conjunto de observações desconsiderando aquelas pertencentes ao “período de sintonização”.  
Nota: valores em metros.

TABELA 5 – LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO ERRO ALTIMÉTRICO

Estação Teste	Média (T)	Média (S15)	Desvio Padrão (T)	Desvio Padrão (S15)
AZMT	0,679	0,420	0,722	0,291
PIL2	1,907	1,655	1,288	1,194
PIL3	0,599	0,424	0,715	0,307
JBOT	0,739	0,507	0,998	0,345
FOOT	1,378	0,800	1,711	0,569

TECS	0,869	0,779	0,669	0,542
KM03	1,423	1,497	0,739	0,765
EDIT	0,623	0,604	0,438	0,419
ROND	0,861	0,713	0,611	0,544
CHRI	0,556	0,494	0,369	0,331

Nota: o índice (T) se refere ao conjunto inteiro de observações; enquanto o índice (S15) refere-se ao conjunto de observações desconsiderando aquelas pertencentes ao “período de sintonização”.  
Nota: valores em metros.

De uma forma geral, verifica-se uma melhora no posicionamento planimétrico de aproximadamente 24% e na componente altimétrica de 30% ao se desconsiderar os dados compreendidos no “período de sintonização”. Baseando-se nas considerações acima, decidiu-se pelo cômputo do limite superior (LS) para o intervalo de confiança de 99,73% ( $\bar{x} + 3\sigma$ ), para estas observações, ou seja, desconsiderou-se as 15 primeiras épocas de cada levantamento (Tabela 6).

TABELA 6 – LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO LIMITE SUPERIOR DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 99,73%

Estações Teste	Erro Planimétrico	Erro Altimétrico
AZMT	0,535	1,293
PIL2	0,808	5,237
PIL3	0,675	1,345
JBOT	0,772	1,542
FOOT	2,466	2,507
TECS	0,572	2,405
KM03	0,449	3,792
EDIT	0,810	1,861
ROND	0,199	2,345
CHRI	1,000	1,487

Nota: valores em metros.

Era esperado uma uniformidade dos dados, ou seja, um acréscimo nos erros planimétricos e altimétricos à medida que o comprimento da linha de base aumenta-se. Porém, conforme mostrado na tabela 6, isso não foi verificado. De uma maneira geral, salvo algumas exceções, o erro planimétrico na 1ª ocupação DGPS variou de 0,4 a 1,0 m. Mesmo considerando-se estas exceções, o erro cometido foi inferior a 2,5 m, valor este admissível para os posicionamentos DGPS. Com relação aos resultados da componente altimétrica verifica-se que para 80% das estações “teste” o erro foi inferior a 2,5m.

### 6.1.2 - Segunda Ocupação DGPS

Para assegurar a integridade das soluções obtidas no primeiro levantamento DGPS, realizou-se uma nova ocupação das estações teste.

Foi observado na seção 6.1.1, que as soluções DGPS, da 1ª ocupação, eram instáveis nos instantes iniciais do rastreo. Conseqüentemente, o primeiro aspecto que foi analisado nesta etapa, refere-se a confirmação da existência ou não deste “período de sintonização” para os dados coletados durante a 2ª ocupação DGPS. Elaborou-se novamente os gráficos que exprimem o comportamento dos erros planimétricos e altimétricos ao longo do tempo. O gráfico 2 apresenta estes erros referentes à ocupação da estação “teste” AZMT.

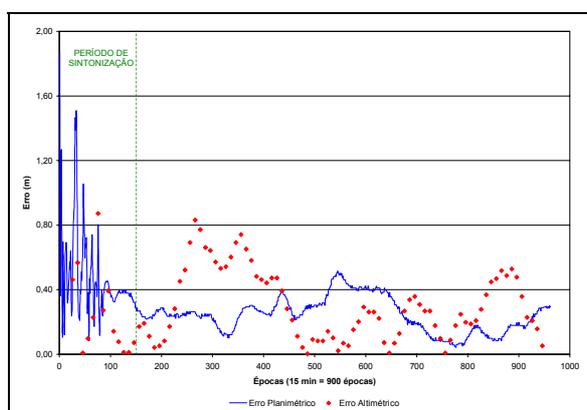


Gráfico 2 – Erro planimétrico e Altimétrico  
2ª Ocupação – Estação AZMT

Ao se proceder uma análise visual do gráfico 2 verifica-se que o comportamento dos erros planimétricos e altimétricos também é instável no início do rastreo. Com a análise dos resultados das demais estações teste verificou-se uma melhora no posicionamento planimétrico de 32% e na componente altimétrica de 16% ao se eliminar, neste caso, as 150 primeiras épocas de dados. Tais análises vem comprovar a ocorrência de um “período de sintonização” nos levantamentos DGPS. Pode-se reafirmar também, que o comportamento dos planimétricos ao longo do tempo é mais suave do que dos erros altimétricos.

Na seqüência, partindo-se da proposição de que as melhores soluções DGPS encontram-se após a conclusão do “período de sintonização”, foi realizado o cálculo do limite superior desta solução para o intervalo de confiança de 99,73% ( $\bar{x} + 3\sigma$ ). Tais resultados encontram-se indicados na tabela 7.

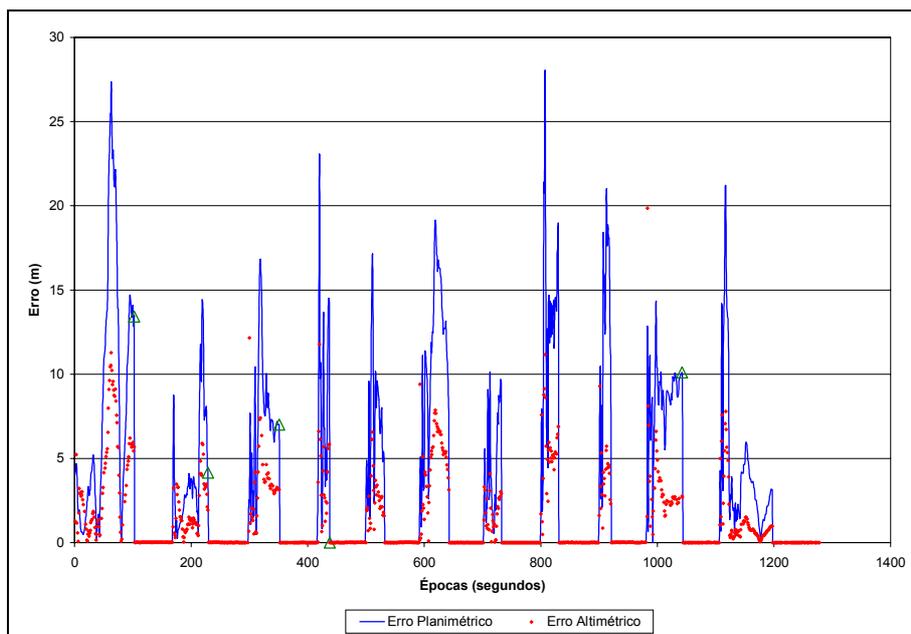
TABELA 7 – LEVANTAMENTO DGPS – 2ª OCUPAÇÃO LIMITE SUPERIOR DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 99,73%

Estações Teste	Erro Planimétrico (m)	Erro Altimétrico (m)
AZMT	0,562	0,943
PIL2	1,348	2,438
PIL3	0,518	2,619
JBOT	0,558	3,175
FOOT	1,461	4,496
TECS	2,293	2,612
KM03	1,276	2,493
EDIT	4,410	5,790
ROND	0,700	2,004
CHRI	0,621	1,376

Analisando a tabela 7, verifica-se a ocorrência de uma anormalidade nos resultados apresentados pela estação “teste” EDIT. Nela os erros planimétricos e altimétricos, dentro de uma confiabilidade de 99,73%, ficaram em torno de 4,4 e 5,8 metros, respectivamente. Ao se analisar os resultados obtidos nas outras estações “teste”, considerando-se este mesmo padrão de confiabilidade, observa-se que em 80% das investigações os erros planimétricos e altimétricos não ultrapassaram a 1,5 e 3,2 m, respectivamente.

### 6.2 Levantamento RTK

A investigação para a definição da correlação espacial na técnica RTK contou com apenas um levantamento. Ainda, em virtude de problemas ocorridos no computador da estação de referência, não foi possível realizar a ocupação das estações teste EDIT, TECS e CHRI. Um dos aspectos enfatizados na seção 5.3 diz respeito aos procedimentos realizados durante a ocupação das estações “teste”. Uma das características mais marcantes neste tipo de levantamento corresponde ao processo de “reinicialização” da solução RTK após terem sido decorridos aproximadamente 60 seg desde o instante de fixação das ambigüidades. Tal processo pode ser mais bem visualizado no gráfico 3. Ele se refere aos dados coletados durante o rastreo da estação “teste” AZMT, sendo que a seqüência em traço contínuo descreve o comportamento temporal do erro planimétrico e a seqüência em losangos o comportamento temporal do erro altimétrico. Ao se observar este gráfico, percebe-se que em certos intervalos de tempo (aproximadamente 60 seg) os erros planimétricos e altimétricos estão praticamente sobrepostos ao eixo das abscissas. É dentro deste intervalo de tempo que se encontra as soluções compatíveis com o padrão RTK.



Nota:  $\Delta$  indica o instante de tempo no qual a ambigüidade inteira é fixada e  $\circ$  indica o instante de tempo no qual ocorreu a "reinicialização" da solução.

Gráfico 3 – Processo de Reinicialização da Solução na Técnica RTK – Estação Teste AZMT

Portanto, para um estudo mais efetivo da acurácia da solução RTK, foram gerados novamente os gráficos referentes aos erros planimétricos e altimétricos, considerando apenas os resultados com as ambigüidades inteiras resolvidas. Estes gráficos apresentam pequenos trechos de dados com aproximadamente 60 seg cada um. O gráfico 4 é um exemplo característico. Nele observa-se a existência de pequenos triângulos, os quais indicam os instantes em que ocorreram a fixação das ambigüidades e conseqüentemente na separação das diversas soluções.

(ou trechos). O gráfico 4 foi constituído por dados coletados na estação teste AZMT.

Ao se proceder uma análise visual do gráfico 4, observa-se que a magnitude dos erros altimétricos é menor do que a apresentada para os erros planimétricos. Tal situação também foi verificada nas estações teste PIL3, JBOT e FOOT (PRADO, 2001). Contudo, verificou-se que a variação temporal dos erros planimétricos é mais suave com relação à dos erros altimétricos.

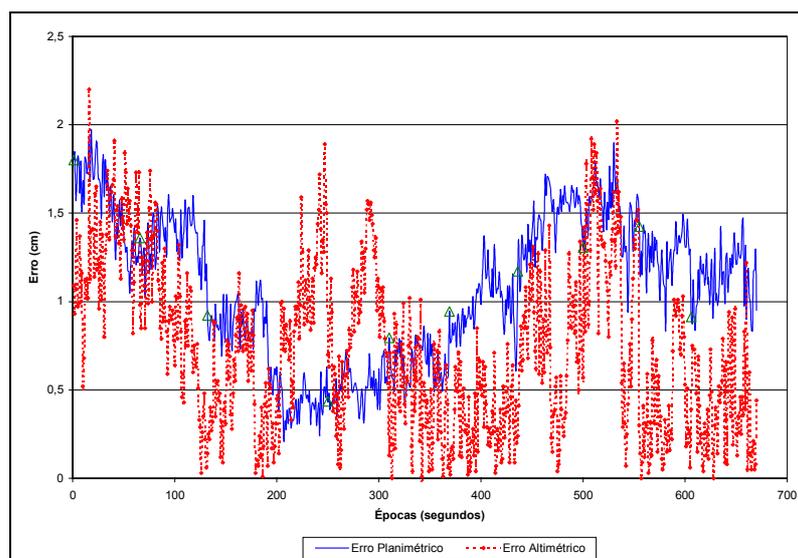


Gráfico 4 – Erros Planimétricos e Altimétricos na Solução RTK Estação Teste AZMT

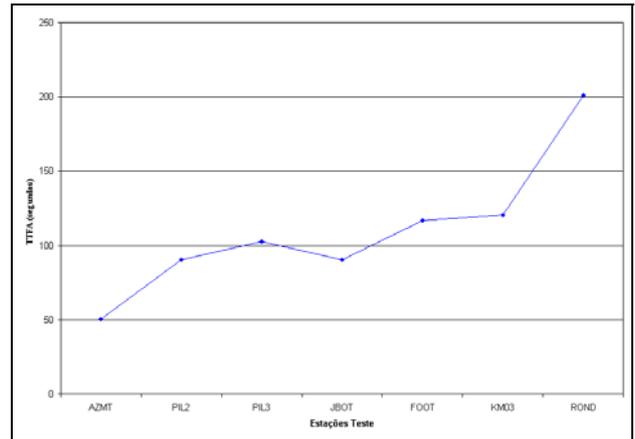
Na tabela 8 estão representados os limites superiores dos erros planimétricos e altimétricos para o intervalo de confiança de 99,73% ( $\bar{x} + 3\sigma$ ).

TABELA 8 – ERROS NA TÉCNICA RTK

Estações Teste	Erro Planimétrico (cm)	Erro Altimétrico (cm)
AZMT	2,307	2,138
PIL2	2,191	10,377
PIL3	2,942	3,647
JBOT	2,985	5,125
FOOT	5,137	4,185
KM03	6,493	13,804
ROND	5,376	9,864

De uma maneira geral, para linhas de base de comprimento inferior a 1,5 Km, o erro planimétrico foi menor que 3 cm; ao passo que para linhas de base superiores a este comprimento (neste caso até 25 Km), o erro planimétrico ficou entre 3 e 7 cm. Com respeito ao erro altimétrico, para linhas de base de até 25 Km, o mesmo ficou entre 1,5 a 15 cm.

Outro estudo realizado com os dados provenientes do levantamento RTK foi à quantificação do tempo necessário para que as ambigüidades inteiras (TTFA) fossem resolvidas, tentando correlacioná-la com o aumento progressivo da linha de base. Tomando por base o gráfico 3, o TTFA corresponde ao período de tempo despendido entre uma reinicialização da solução ( ) e a próxima fixação das ambigüidades ( ). No gráfico 5 encontram-se representados os valores médios dos tempos necessários para a fixação das ambigüidades, em cada estação “teste”. Analisando-o, percebe-se que à medida que a estação móvel distancia-se da estação de referência há um aumento no TTFA. Constatou-se que a estação “teste” AZMT (CLB= 0,0 Km) necessitou em média 50 seg para a realização deste processo, enquanto que a estação “teste” ROND (CLB= 25 Km) necessitou em média 200 seg.



Nota: abscissas em segundos.

Gráfico 5 – Tempo de Fixação das Ambigüidades Inteiras (TTFA).

## 7. CONCLUSÕES

Para a técnica DGPS, verificou-se que a solução, para linhas de base de até 30 Km, não possui um comportamento uniforme. Foi observado na 1ª ocupação que a estação teste ROND, apesar de se encontrar a 25 Km da estação de referência, apresentou melhores resultados que a estação teste AZMT distante apenas 200 m da estação de referência. Tais circunstâncias dificultaram um estabelecimento fiel da degradação posicional com respeito ao aumento do tamanho das linhas de base, para esta técnica. Contudo, constatou-se que, para estas linhas de base, o erro planimétrico não deve ser superior em 80% dos casos a 2,5 m, enquanto que o erro altimétrico não deve ultrapassar os 4 m.

A relação entre a degradação posicional e o aumento do comprimento da linha de base ficou mais evidente na técnica RTK (tabela 8). Contudo, devido à ocorrência de pequenas flutuações na solução final, optou-se apenas pela definição dos chamados intervalos de confiança. De uma maneira geral, para linhas de base de comprimento inferior a 1,5 Km, o erro planimétrico será menor que 3 cm; ao passo que para linhas de base superiores a este comprimento (neste caso até 25 Km), o erro planimétrico ficará entre 3 e 7 cm. Com relação a componente altimétrica verificou-se que seu erro variará entre 2 e 15 cm, considerando linhas de base de até 25 Km.

Outro aspecto destacado nas seções 6.1 e 6.2 refere-se ao tempo necessário que o usuário DGPS ou RTK tem que aguardar para usufruir a máxima potencialidade destes sistemas, ou simplesmente, das melhores soluções. Na técnica DGPS este tempo foi designado de “período de sintonização”, ao passo que na técnica RTK o mesmo reporta-se ao período necessário para a fixação das ambigüidades inteiras (TTFA). Verificou-se que o “período de sintonização” corresponde a um intervalo de tempo de aproximadamente 150 seg. Com relação ao tempo de fixação das ambigüidades inteiras (TTFA) constatou-se que o seu valor aumenta

progressivamente, à medida que a estação móvel se afasta da estação de referência. Neste caso, observou-se que para linhas de base de até 1,5 Km de comprimento, a magnitude do TTFA deve variar de 50 a 100 seg; e que para linhas de base de 1,5 a 11 Km este valor não deve superar os 120 seg.

Verificou-se que, para linhas de base de até 11 Km, a técnica RTK permitiu soluções mais acuradas do que as DGPS, e ainda em um menor tempo de ocupação. Para a linha de base de 25 Km (estação teste ROND) foram necessários 200 seg em média para que as ambigüidades inteiras fossem resolvidas, tempo este superior ao “período de sintonização” do DGPS. Contudo, houve um ganho substancial em acurácia, ou seja, 7 cm para a técnica RTK e 4,5 m para o DGPS (posicionamento planimétrico).

Durante a segunda ocupação da estação teste EDIT houveram inúmeros problemas referentes à recepção das correções diferenciais, o que possivelmente prejudicou a qualidade posicional. Diante desta situação recomendam-se estudos para quantificar a relação qualidade posicional e latência.

Em PRADO (2001, p.86-87) encontram-se mais sugestões de temas de pesquisa a serem realizadas nesta área de posicionamento por satélite.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASHTECH *Inc* **Ashtech Z-XII™ GPS Receiver Operating Manual**. Maio, 1994, p.153-172.

BRIONES, A. B. **Análise do Posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no Litoral Brasileiro**. Curitiba, 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

EL-MOWAFY, A. **Performance Analysis of the RTK Technique in an Urban Environment**. The Australian Surveyor, Vol.45, n.1, 2000.

FFOULKES-JONES, G.; CONSADIER, D. **Utilizing a Low Cost Receiver for Centimeter to Sub-meter Accuracy Real-Time and Post-Processed Applications**. ION GPS-95, 1995.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

LANGLEY, R. **RTK GPS**. GPS World, Setembro 1995.

PRADO, A. **Análise da Acurácia e da Correlação Espacial nas Técnicas DGPS e RTK**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

ROTACHER, M.; MERVART, L. **Bernese GPS Software V4.0**. Astronomical Institut University of Berne, 1996.

RTCM V2.2 **Radio Technical for Maritime Services: RTCM recommended standards for differential GNSS service V2.2** Alexandria (EUA), 1998.

Recebido em 15 de maio de 2003 – Aceito para publicação em 23 de outubro de 2003.