

## **Análise do efeito corona gerado por redes elétricas de alta tensão sobre o posicionamento relativo com GNSS**

*Analysis of Corona noise caused by high voltage electric lines on the relative GNSS positioning*

Fernando Luis Hillebrand<sup>1</sup>  
Gelson Lauro Dal' Forno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM  
Programa de Pós-Graduação em Geomática  
UFSM, Avenida Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria, RS – Brasil.  
fernandoluis@topografia.com.br, gelsmrs@hotmail.com

**RESUMO** – O propósito deste trabalho foi investigar a possibilidade de ocorrer erros no posicionamento devido ao multicaminhamento oriundo do efeito corona, gerado em linhas elétricas de alta tensão, na recepção de sinais GNSS. Foram realizados experimentos nas proximidades de uma rede elétrica com tensão de 69 kV onde implantou-se uma série de onze pontos transversais ao alinhamento longitudinal da linha de transmissão e realizadas avaliações da interferência no posicionamento pelo método relativo estático com receptor GNSS de dupla frequência. Para avaliar a interferência na estimativa das coordenadas dos pontos foi necessário obter as coordenadas geodésicas desses pontos sem possibilidades de multicaminhamento pelo efeito corona. Para isto, implantou-se uma poligonal topográfica enquadrada cujas estações de apoio estão 130 m distantes da linha de transmissão. Realizadas as análises estatísticas concluiu-se que para os métodos de levantamento e os equipamentos geodésicos utilizados neste experimento, em uma linha de transmissão de 69 kV, as discrepâncias constatadas ficaram dentro do desvio-padrão.

**Palavras-chave:** poligonal topográfica; receptores GNSS; rede elétrica; efeito corona; multicaminhamento dos sinais GNSS.

**ABSTRACT** – The purpose of this work was to investigate the possibility of errors in positioning caused by the multipath coming from the corona noise, generated in high-voltage electric lines, in GNSS signals reception. Experiments were performed near a 69 kV tension electric line where it was established a series of eleven transverse points to the longitudinal alignment of the transmission line and accomplished evaluations of positioning interference in the static relative method with a dual frequency GNSS receiver. To evaluate the interference in the coordinates estimation it was necessary to obtain the geodetic coordinates of these points without the possibility of multipath by corona noise. For this, it was established a square topographical polygonal whose support stations was 130 meters far from the transmission line. Performed the statistical analysis it was concluded that for the methods of mapping and the geodetic equipment used in this experiment, in a 69 kV transmission line, the discrepancies found were within the standard deviation.

**Keywords:** topographical polygonal; GNSS receivers; electric lines; corona noise; GNSS signal multipath.

### **1. INTRODUÇÃO**

O princípio básico do posicionamento pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é a medida das distâncias entre o receptor e, no mínimo, quatro satélites através do emprego das ondas eletromagnéticas transmitidas, sendo esta informação obtida essencialmente pelo intervalo de tempo da propagação do sinal. Segundo Monico (2008) e Hofmann-Wellenhof (2001), conhecendo as coordenadas dos satélites em um sistema de referência apropriado é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência.

As observações GNSS, tal como outras variáveis envolvidas nos processos de medidas, estão sujeitas a erros grosseiros, aleatórios e sistemáticos (MONICO, 2008).

Durante o percurso da onda eletromagnética entre o satélite e o receptor podem ocorrer interferências no sinal ocasionando consequentemente erros de posicionamento. As fontes de erros estão relacionadas ao meio de propagação do sinal do satélite ao receptor (HOFMANN-WELLENHOF, 2001). O multicaminhamento pode ser associado a duas fontes, podendo ser classificado como erro relacionado à propagação de sinal e erro relacionado a estação que consiste em algumas distorções, na realidade, efeitos geodinâmicos que devem ser corrigidos (MONICO, 2008).

Sousa (2005) relata que, no instante da transmissão e recepção dos sinais dos satélites GNSS podem ocorrer interferências não intencionais no percurso e que vem gerar erros sistemáticos. Bueno (2000) relata que estas interferências são mais preocupantes nos casos em que se

requer maior precisão relativa, em ambientes propícios ao multicaminhamento.

Para Wan e Ibrahim (2010) a radiação eletromagnética emitida pelas linhas de transmissão de alta tensão seria a causa mais provável de alguma inconsistência com o método de posicionamento por GNSS em levantamentos geodésicos realizados próximos a estas estruturas. O ruído elétrico gerado pela linha poderia causar erros tanto em cada um como em ambos, medição do tempo e fase do sinal, através da geração de um campo elétrico e de um campo magnético em volta dos fios de alta tensão.

Silva e Olsen (2002) descrevem o mecanismo do efeito corona no decorrer das linhas de transmissão como uma interferência eletromagnética gerada pela superfície condutora de energia, em frequências próximas ou acima de 50 a 60 Hz, ionizando o ar em torno da linha condutora. Portanto, o efeito corona é causado pelo campo elétrico gerado em torno da superfície condutora de energia, induzindo correntes impulsivas. Pacific Gas and Electric (2005) comparou o ambiente ionizado em torno dos cabos de alta tensão com a camada ionosférica encontrada na atmosfera. Veldhuizen e Rutgers (2000) citam três condições que devem ser encontradas para iniciar uma descarga corona: i) deve haver elétrons livres na área de interesse, ii) a intensidade do campo elétrico deve ser alta, e iii) o nível da desuniformidade do campo elétrico deve ser alto.

A EUPOS (2008) relata também das interferências não intencionais que podem ser originadas nas proximidades de linhas elétricas de alta potência e nos transformadores. Bueno (2000) relata que dentre as interferências que ocorrem preferencialmente na onda portadora L2 estão os cabos de alta voltagem a uma distância de até 10 m do receptor GNSS.

No *Earth Observation Magazine* (1995), a *NovAtel Communications Limited* afirmou que “As linhas de energia afetam primariamente a sessão de RF (Radiofrequência) de cada receptor GNSS e como cada fabricante tem diferentes métodos de proteção para tentar minimizar as interferências externas, cada receptor irá reagir diferentemente no ambiente”. Essa preocupação é oficialmente relatada no item 4.3.3. - Erros devido à escolha do ponto, do manual sobre procedimentos para mensurações, elaborado pelo *Department of Transportation of State New Jersey* (2012).

Dentre alguns critérios visando minimizar a degradação da precisão da estimativa das coordenadas utilizando observações GNSS está a seleção do local para o rastreamento, conforme IBGE (2008), evitando locais próximos a linhas de transmissão de alta voltagem por representarem possíveis fontes de interferência para sinais GNSS.

Já Alsaman (2001) mostra um contraponto analisando se as linhas de energia de alta tensão de 380 kV causariam distúrbios aos dados GNSS observados e, conseqüentemente nos resultados do posicionamento. Logo, concluiu que não haveria risco de interferência do sinal para o posicionamento relativo estático rápido.

O presente estudo tem como objetivo mensurar, avaliar e discutir o erro de posicionamento planimétrico gerado pela interferência do efeito corona, devido ao campo eletromagnético das redes elétricas de alta tensão, nos levantamentos geodésicos que utilizam a recepção de sinais através de receptores GNSS de dupla frequência no modo relativo estático.

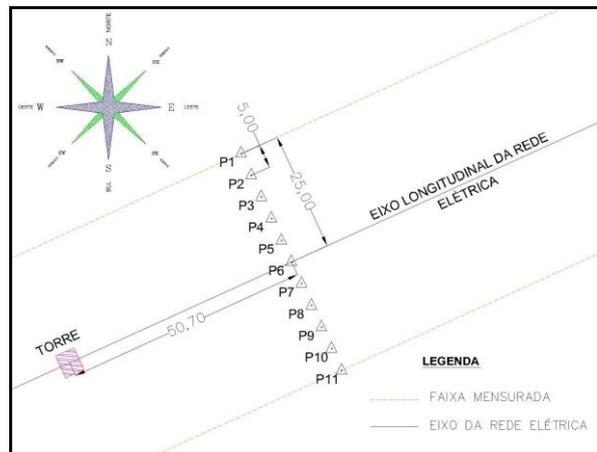
## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da área de estudo

As mensurações foram realizadas em uma área localizada às margens da Estrada Municipal Eduardo Duarte, Bairro Tomazetti, na zona urbana do Município de Santa Maria/RS, no dia 23 de Julho de 2011.

A rede elétrica utilizada nas avaliações experimentais está sob concessão da empresa AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A. A linha apresenta uma tensão nominal de 69 KV e frequência de 60 Hz.

Para avaliação do possível erro no posicionamento planimétrico com receptores GNSS nas proximidades das redes elétricas de alta tensão, foram implantados onze pontos. Esses pontos estão distribuídos perpendicularmente ao eixo longitudinal da linha, com equidistância de 5 m, cobrindo uma região de 25 m para cada lado do eixo da linha, conforme ilustrado na figura 1.



**Figura 1** – Croqui de detalhamento dos pontos implantados abaixo da rede elétrica.

Implantados os pontos, era necessária a determinação das coordenadas planimétricas sem que houvesse a possibilidade da interferência do campo eletromagnético. Para isto foram implantados quatro estações de apoio imediato, situados a uma distância média de 130 m, minimizando a possibilidade de interferência das torres e dos condutores elétricos. A figura 2 apresenta o croqui da localização da rede elétrica, dos pontos e marcos de apoio da poligonal topográfica.

### 2.2 Determinação das coordenadas por GNSS das estações de apoio

O levantamento geodésico das estações foi através do posicionamento relativo estático com o receptor

previamente configurado para operar em uma taxa de aquisição igual a 5 segundos, PDOP (*Positional Dilution of Precision*) < 6, ângulo de elevação de 15°, tempo mínimo de permanência de uma hora por ponto. Foram utilizados dois receptores simultaneamente, sendo o primeiro rastreo nas estações de apoio de partida da poligonal e o segundo rastreo nas estações de apoio de chegada. Para o processamento e ajustamento geodésico foi considerada como base a Estação SMAR pertencente à RBMC, distanciada a 7,73 Km. Apoiado nestas estações implantou-se a poligonal topográfica enquadrada que serviu de apoio à determinação por irradiação das coordenadas planimétricas dos pontos situados sob a rede elétrica.

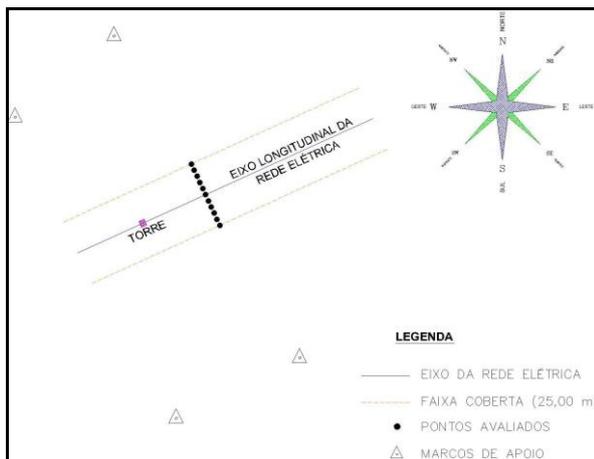


Figura 2 – Croqui de localização da rede elétrica, os pontos e os marcos de apoio.

### 2.3 Determinação das coordenadas por GNSS dos pontos situados nas proximidades da rede elétrica

Visando avaliar a interferência nos sinais GPS e GLONASS nas ondas portadoras L1/L2, fixou-se simultaneamente duas bases a 1,50 metros de altura e foram levantados os onze pontos que constituem a amostra pelo método de posicionamento relativo estático com dois receptores GNSS de dupla frequência modelo Hiper da marca comercial Topcon com precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm e a vertical de 5 mm + 0,5 ppm. Este modelo possui a funcionalidade “*Advanced Multipath Mitigation*” que reduz os efeitos de multicaminhamento na recepção de sinais, estando ativado na ocasião do levantamento.

Com o software comercial Topcon Tools V. 7.1., foi realizado o processamento geodésico dos pontos com o nível de confiança de 68,27% considerando como base a estação SMAR, pertencente à RBMC. O comprimento médio das linhas de base ficou em 7,68 Km.

A partir dos dados coletados nos pontos realizaram-se seis simulações de tempos de observação para analisar a apresentação de solução fixa e a possível influência do tempo de rastreo na compensação da provável influência do campo eletromagnético. Os tempos de rastreo realizados foram: 1, 5, 15, 30, 45 e 60 min.

Como as coordenadas dos pontos obtidos pelo levantamento topográfico estão em sistema diferente das

obtidas pelo levantamento geodésico, não há a possibilidade da análise estatística. Assim, após o levantamento e o processamento geodésico dos pontos foi realizada a transformação dos dados que estavam no Sistema Geodésico Geocêntrico para o Sistema Geodésico Local (SGL). A transformação de coordenadas foi efetuada através de rotações e translações, na mesma escala, sendo as formulações matemáticas descritas por Andrade (1998), por Jakeli (2006) e ainda, por Monico (2008).

Conforme Dal’ Forno et al. (2009), o plano local topográfico (topografia) desconsidera a curvatura da terra e é perpendicular a vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem do levantamento. Na transformação de coordenadas do Sistema Geodésico Cartesiano Tridimensional para o Sistema Geodésico de Coordenadas Terrestre Local pelo método da rotação e translação, na mesma escala, não se observam os erros sistemáticos provenientes da desconsideração da curvatura terrestre e do desvio da vertical. Assim, esse plano também pode ser estabelecido em função da normal ao elipsoide. Para efetuar estas transformações empregou-se o software Transgeolocal v. 2.0.

### 2.4 Determinação das coordenadas com estação total dos pontos situados nas proximidades da rede elétrica

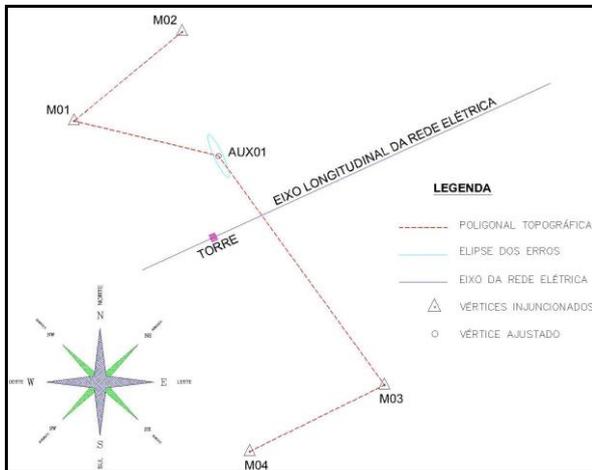
Com a finalidade de obter as coordenadas planimétricas dos pontos, o levantamento topográfico seguiu as seções 5 e 6 da NBR 13.133/94 – Execução de Levantamento Topográfico que tratam sobre as condições gerais e específicas dos levantamentos.

O equipamento utilizado foi a estação total Leica modelo TPS 805, com as características de apresentar, para medição angular no método absoluto contínuo, a resolução de 1" e desvio-padrão de 5" e, para a medição de distâncias com prisma o desvio-padrão é de 2 mm + 2 ppm no programa de medição EDM (*Electronic Distance Meter*).

Inicialmente foram implantados quatro marcos de concreto para dar apoio à partida e à chegada da poligonal topográfica enquadrada. Em sequência efetuou-se o levantamento geodésico com receptores GNSS, metodologia já descrita na seção 2.2, e aplicou-se o método de translações e rotações ao Sistema Geodésico Geocêntrico para transformá-lo no Sistema Geodésico Local.

Referenciado nas coordenadas do Sistema Geodésico Local, realizou-se o levantamento topográfico da poligonal enquadrada, sendo para a medição angular três séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical e, para a medição linear foram realizadas leituras recíprocas de vante e ré. Após aplicou-se o ajustamento da poligonal pelo MMQ (Método dos Mínimos Quadrados), sendo utilizado o software TopoEVN 6.6.0.7 da empresa Métrica Tecnologia. Para a origem do sistema topográfico, considerou-se o marco M01 com as coordenadas x= 1.000 e y= 1.000, sendo a orientação azimutal base realizada no marco M02. Na

orientação azimutal de chegada se utilizaram os marcos M03 e M04, conforme a figura 3. A orientação azimutal utilizada é a geodésica. Segundo Dal' Forno et al. (2010), para que possa ocorrer a execução da transformação entre sistemas de coordenadas é imprescindível que o levantamento topográfico esteja orientado segundo o azimute geodésico da direção de dois pontos comuns aos dois tipos de levantamento.

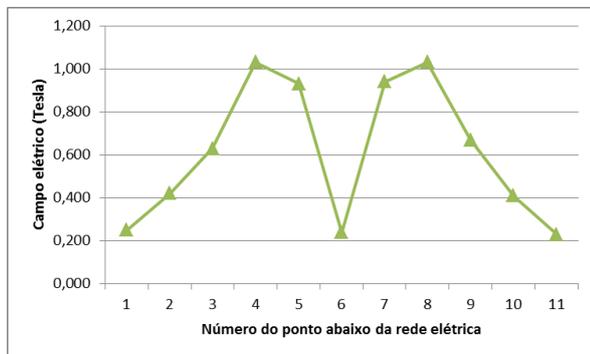


**Figura 3** – Croqui da poligonal topográfica enquadrada representando a elipse dos erros do marco AUX01.

Após o ajuste da poligonal topográfica a estação AUX01 apresenta os seguintes desvios-padrão e orientação da elipse dos erros: semi-eixo maior = 0,005 m, semi-eixo menor = 0,001 m e ângulo crítico de 334°54'21,1", conforme ilustrado na figura 3. Esta estação foi utilizada para o levantamento topográfico por irradiação dos onze pontos situados sob a rede elétrica.

### 2.5 Mensuração do campo eletromagnético

Para a mensuração da influência do campo elétrico nos pontos situados próximos a rede de transmissão foi utilizado o medidor de campo eletromagnético modelo EM-8000, fabricado pela ICEL-Manaus. A partir dos dados levantados gerou-se um gráfico ilustrativo do comportamento do efeito corona, conforme a figura 4.



**Figura 4** – Campo elétrico mensurado nos pontos localizados abaixo da rede de transmissão.

A amplitude gerada é representada transversalmente ao alinhamento da linha de transmissão. Observa-se que

no ponto 6 (eixo da rede) há um campo elétrico mínimo e conforme afasta-se, ocorre um acréscimo exponencial chegando ao máximo nos pontos 4 e 8 (10 metros distante do eixo) e na sequência ocorre o declínio chegando novamente em valores mínimos nos pontos 1 e 11 (25 metros distante do eixo).

Wan e Ibrahim (2010) avaliaram o comportamento do campo elétrico produzido por uma linha de transmissão de 275 kV e constataram, para pontos localizados perpendicularmente ao eixo central da linha de transmissão, influências mínimas do campo elétrico a partir de 30 m. No experimento verificou-se um comportamento similar pelo campo elétrico gerado na rede de transmissão.

### 2.6 Avaliação e análise estatística do erro de posicionamento

Para a avaliação do erro de posicionamento será calculado a precisão objetivando mensurar os erros aleatórios e a acurácia para dimensionar tanto os erros aleatórios quanto sistemáticos das coordenadas (x e y) obtidas por meio de receptores GNSS de dupla frequência nos pontos situados sob a rede de transmissão.

Conforme a NBR 13133/1994 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 1994) precisão é o valor que expressa o grau de aderência das observações entre si. Este valor será obtido a partir da média dos desvios-padrão para as diferentes sessões de rastreamento.

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Onde:

$\sigma_x$  : representa a precisão média populacional (m);

$\sigma$  : representa a média dos desvios-padrão amostral (m);

$n$  : número de observações (sessões de rastreamento).

Para mensurar a acurácia dos dados será calculado o EMQ (Erro Médio Quadrático) entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL. Mikhail e Ackermann (1976 apud Monico et al., 2009) descrevem a acurácia como sendo o grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro (ou valor verdadeiro). Para se obter o estimador da acurácia, foi aplicado a equação proposta por Gauss, dada por:

$$EMQ = \sigma_p^2 + (b)^2 \cong \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i^2}{n} \quad (2)$$

Onde:

$\sigma_p^2$  : representa a dispersão das medidas, também denominado variância (m);

$b$  : representa a tendência ou vício do estimador (m);

$\varepsilon$  : diferença entre o valor observado e o tomado como referência (m).

Após aplicar o EMQ e constatando tendência nos resultados obtidos, é necessária a averiguação se é significativa ou não. Para isto, será construído um intervalo de confiança para a média populacional sendo representado pela expressão (GEMAEL, 1994):

$$P\left(x - \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} z \leq \mu \leq x + \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} z\right) = 1 - \alpha \quad (3)$$

Onde:

$x$ : média amostral (m);

$\mu$ : média populacional (m);

$z$ : variável aleatória dentro da distribuição normal, considerando um determinado valor de  $\alpha$ .

### 2.7 Análises estatísticas complementares

Para obter uma comparação adimensional das variáveis envolvidas, foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ) e o índice de concordância ( $c$ ). As análises estatísticas foram realizadas entre as coordenadas oriundas do levantamento topográfico no SGL e o levantamento obtido com diferentes sessões de rastreamento pelo receptor GNSS de dupla frequência.

Conforme Costa Neto e Oliveira (2002) o coeficiente de correlação linear de Pearson tem a importante propriedade de ser adimensional e de variar entre -1 e +1. No caso de  $r = -1$  tem-se um caso de correlação linear negativa perfeita e se  $r = +1$  a correlação é linear positiva perfeita. Esse coeficiente permite avaliar o grau de associação entre os valores observados e os valores estimados. Ele é representado pela expressão:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}} \quad (4)$$

Onde:

$r$ : coeficiente de correlação linear de Pearson;

$e_i$ :  $i$ -ésima coordenada proveniente do levantamento geodésico com receptor GNSS de dupla frequência (m);

$\bar{e}$ : média das coordenadas provenientes do levantamento geodésico com receptor GNSS de dupla frequência (m);

$o_i$ :  $i$ -ésima coordenada proveniente do levantamento topográfico (m);

$\bar{o}$ : média das coordenadas provenientes do levantamento topográfico (m).

Segundo Willmont (1981) o índice de concordância idealiza a amplitude dos erros entre o modelo proposto (valores estimados) e o observado. Este índice varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, menor a amplitude dos erros. Isto permite avaliar o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas. O modelo é representado pela expressão:

$$c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|e_i - o| + |o_i - o|)^2} \quad (5)$$

Onde:

$c$ : índice de concordância.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

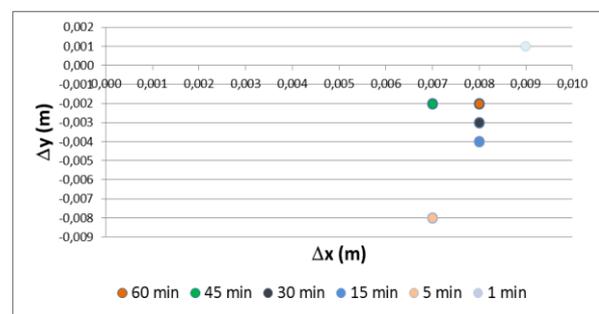
### 3.1 Cálculos dos erros de posicionamento nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS de dupla frequência

No processamento e ajustamento das coordenadas geodésicas mensuradas pelos receptores GNSS de dupla frequência nos pontos situados sob a rede de transmissão, todos os resultados apresentaram solução fixa para os diferentes pontos e sessões de rastreamento.

Nas tabelas de 1 a 11, as colunas 2 e 3 apresentam os desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e nas colunas 4 e 5 estão calculadas as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL.

**Tabela 1** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 1 (25 metros distante do eixo da rede elétrica).

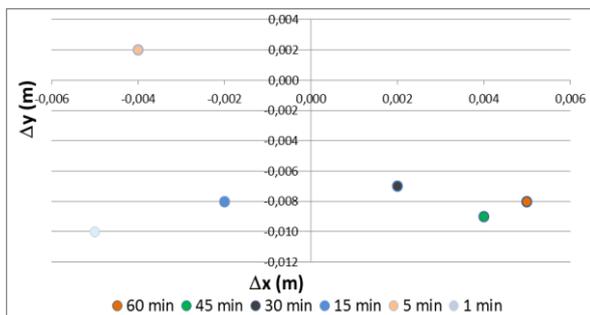
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,120	0,120	0,009	0,001
5	0,017	0,017	0,007	-0,008
15	0,005	0,005	0,008	-0,004
30	0,002	0,003	0,008	-0,003
45	0,002	0,003	0,007	-0,002
60	0,002	0,003	0,008	-0,002
<b>Média</b>	<b>0,025</b>	<b>0,025</b>	<b>0,008</b>	<b>-0,003</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>



**Figura 5** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 1 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 2** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 2 (20 metros distante do eixo da rede elétrica).

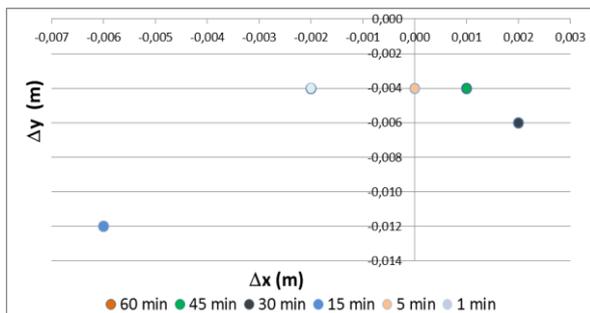
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,086	0,146	-0,005	-0,010
5	0,015	0,024	-0,004	0,002
15	0,005	0,006	-0,002	-0,008
30	0,004	0,004	0,002	-0,007
45	0,003	0,004	0,004	-0,009
60	0,003	0,004	0,005	-0,008
<b>Média</b>	<b>0,019</b>	<b>0,031</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,007</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>



**Figura 6** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 2 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 3** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 3 (15 metros distante do eixo da rede elétrica).

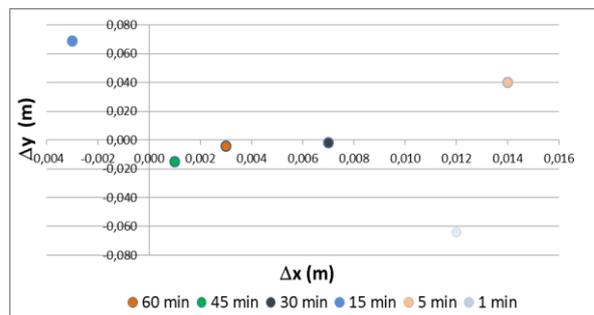
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,118	0,119	-0,002	-0,004
5	0,016	0,016	0,000	-0,004
15	0,030	0,027	-0,006	-0,012
30	0,002	0,003	0,002	-0,006
45	0,003	0,003	0,001	-0,004
60	0,002	0,003	-0,002	-0,004
<b>Média</b>	<b>0,029</b>	<b>0,029</b>	<b>-0,001</b>	<b>-0,006</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>



**Figura 7** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 3 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 4** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 4 (10 metros distante do eixo da rede elétrica).

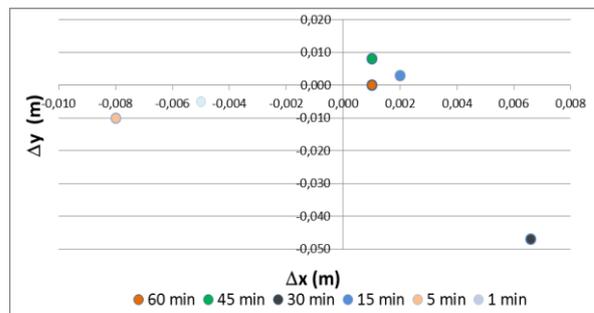
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,098	0,116	0,012	-0,064
5	0,015	0,017	0,014	0,040
15	0,010	0,028	-0,003	0,069
30	0,003	0,003	0,007	-0,002
45	0,022	0,027	0,001	-0,015
60	0,017	0,017	0,003	-0,004
<b>Média</b>	<b>0,028</b>	<b>0,035</b>	<b>0,006</b>	<b>0,004</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,007</b>	<b>0,046</b>



**Figura 8** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 4 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 5** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 5 (5 metros distante do eixo da rede elétrica).

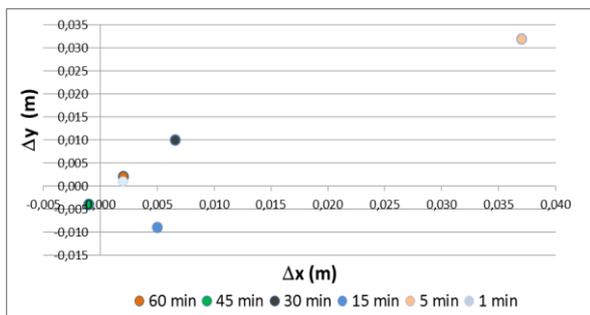
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,094	0,110	-0,005	-0,005
5	0,014	0,018	-0,008	-0,010
15	0,004	0,007	0,002	0,003
30	0,027	0,029	0,007	-0,047
45	0,006	0,010	0,001	0,008
60	0,003	0,003	0,001	0,000
<b>Média</b>	<b>0,025</b>	<b>0,030</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,008</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,005</b>	<b>0,020</b>



**Figura 9** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 5 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 6** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 6 (eixo da rede elétrica).

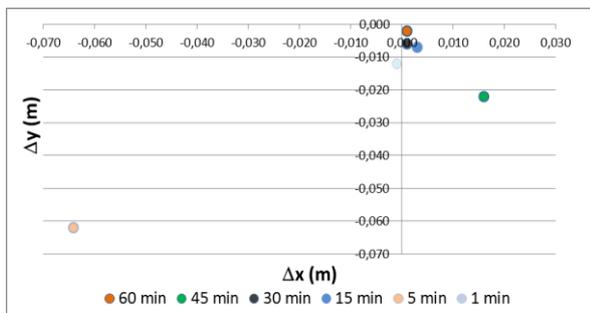
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,086	0,095	0,002	0,001
5	0,019	0,020	0,037	0,032
15	0,034	0,032	0,005	-0,009
30	0,140	0,055	0,007	0,010
45	0,008	0,009	-0,001	-0,004
60	0,007	0,009	0,002	0,002
<b>Média</b>	<b>0,049</b>	<b>0,037</b>	<b>0,009</b>	<b>0,005</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,014</b>	<b>0,015</b>



**Figura 10** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 6 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 7** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 7 (5 metros distante do eixo da rede elétrica).

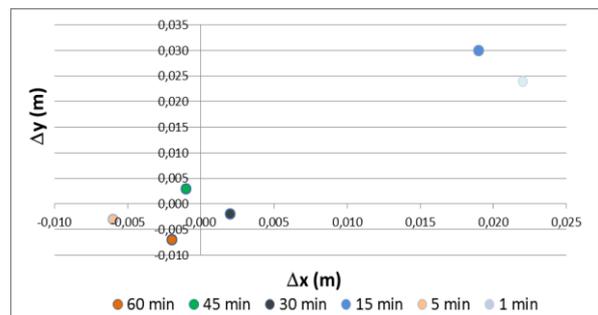
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,113	0,133	-0,001	-0,012
5	0,045	0,049	-0,064	-0,062
15	0,005	0,004	0,003	-0,007
30	0,002	0,002	0,001	-0,006
45	0,031	0,026	0,016	-0,022
60	0,003	0,004	0,001	-0,002
<b>Média</b>	<b>0,033</b>	<b>0,036</b>	<b>-0,007</b>	<b>-0,018</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,028</b>	<b>0,022</b>



**Figura 11** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 7 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 8** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 8 (10 metros distante do eixo da rede elétrica).

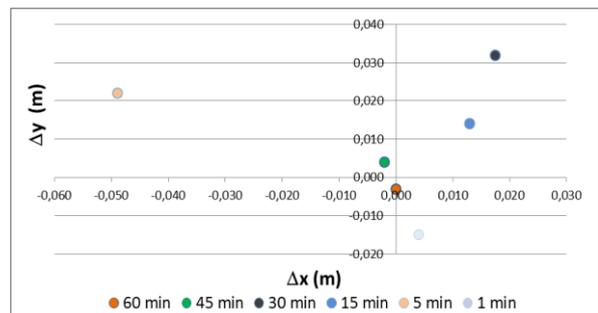
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,104	0,111	0,022	0,024
5	0,012	0,013	-0,006	-0,003
15	0,045	0,039	0,019	0,030
30	0,007	0,007	0,002	-0,002
45	0,007	0,009	-0,001	0,003
60	0,010	0,010	-0,002	-0,007
<b>Média</b>	<b>0,031</b>	<b>0,032</b>	<b>0,006</b>	<b>0,008</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,012</b>	<b>0,016</b>



**Figura 12** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 8 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 9** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 9 (15 metros distante do eixo da rede elétrica).

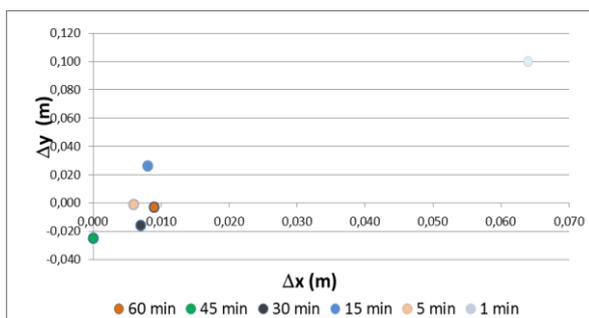
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,097	0,111	0,004	-0,015
5	0,032	0,039	-0,049	0,022
15	0,071	0,093	0,013	0,014
30	0,021	0,026	0,017	0,032
45	0,006	0,008	-0,002	0,004
60	0,003	0,004	0,000	-0,003
<b>Média</b>	<b>0,038</b>	<b>0,047</b>	<b>-0,003</b>	<b>0,009</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,024</b>	<b>0,017</b>



**Figura 13** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 9 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 10** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 10 (20 metros distante do eixo da rede elétrica).

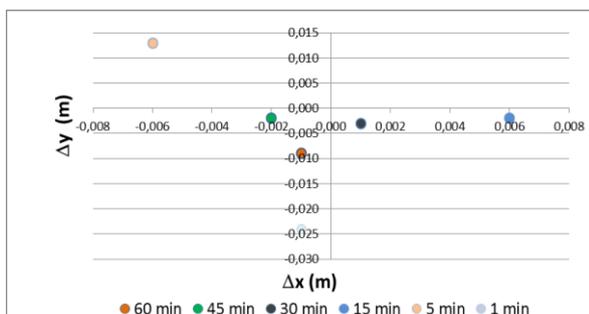
Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,106	0,123	0,064	0,100
5	0,014	0,014	0,006	-0,001
15	0,035	0,037	0,008	0,026
30	0,010	0,010	0,007	-0,016
45	0,009	0,009	0,000	-0,025
60	0,003	0,003	0,009	-0,003
<b>Média</b>	<b>0,030</b>	<b>0,033</b>	<b>0,016</b>	<b>0,014</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,024</b>	<b>0,046</b>



**Figura 14** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 10 em diferentes períodos de rastreamento.

**Tabela 11** – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 11 (25 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	Δx (m)	Δy (m)
1	0,105	0,113	-0,001	-0,024
5	0,014	0,016	-0,006	0,013
15	0,009	0,011	0,006	-0,002
30	0,014	0,017	0,001	-0,003
45	0,005	0,006	-0,002	-0,002
60	0,003	0,004	-0,001	-0,009
<b>Média</b>	<b>0,025</b>	<b>0,028</b>	<b>-0,001</b>	<b>-0,005</b>
<b>DP</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,004</b>	<b>0,012</b>



**Figura 15** – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 11 em diferentes períodos de rastreamento.

Analisando as tabelas 1 a 11 e as figuras 5 a 15, verifica-se que ampliando o período da sessão de rastreamento ocorre uma diminuição dos desvios-padrão amostrais nas coordenadas obtidas pelos receptores GNSS de dupla frequência e conseqüentemente uma redução das discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL.

Porém algumas sessões de rastreamento, em alguns pontos, não acompanharam este comportamento, pois apresentaram desvios-padrão e discrepâncias piores em comparação a períodos menores de rastreamento. Os pontos e sessões de rastreamento são: pontos 5 e 9 com 30 min, e os pontos 4, 7 e 10 com 45 min.

Apesar disto, preliminarmente, estes resultados não constata influênci do efeito corona na qualidade do posicionamento já que são comportamentos isolados aleatórios.

### 3.2 Tratamentos estatísticos dos resultados nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS de dupla frequência

As tabelas 12 e 13 apresentam as tendências, precisões e acurácias para as coordenadas x e y.

**Tabela 12** – Resumo das medidas de tendência, precisão e acurácia (m) para a coordenada x dos pontos situados próximos a rede de transmissão.

Ponto	Tendência	Precisão (Eq. 1)	Acurácia (Eq. 2)
1	0,008	0,010	0,008
2	0,000	0,008	0,004
3	-0,001	0,012	0,003
4	0,006	0,011	0,008
5	0,000	0,010	0,005
6	0,009	0,020	0,016
7	-0,007	0,014	0,027
8	0,006	0,013	0,012
9	-0,003	0,016	0,022
10	0,016	0,012	0,027
11	-0,001	0,010	0,004

**Tabela 13** – Resumo das medidas de tendência, precisão e acurácia (m) para a coordenada y dos pontos situados próximos a rede de transmissão.

Ponto	Tendência	Precisão (Eq. 1)	Acurácia (Eq. 2)
1	-0,003	0,010	0,004
2	-0,007	0,013	0,008
3	-0,006	0,012	0,006
4	0,004	0,014	0,042
5	-0,008	0,012	0,020
6	0,005	0,015	0,014
7	-0,018	0,015	0,028
8	0,008	0,013	0,016
9	0,009	0,019	0,018
10	0,014	0,013	0,044
11	-0,005	0,011	0,012

Avaliando os dados das tabelas 12 e 13 concomitantemente, verifica-se que os pontos 7 e 10 possuem os piores valores de acurácia para o conjunto de coordenadas x e y.

Para averiguar se os valores de acurácia são significativos ou não, será aplicado o intervalo de confiança para a média populacional  $\mu$ , conforme a equação 3. Se o valor estimado para a média  $\mu$  estiver inserido nesse intervalo, considera-se que não há tendência ao nível de probabilidade  $(1 - \alpha)$ . Neste trabalho aplicou-se a distribuição normal pelo t de Student ao nível de significância  $\alpha = 5\%$ , demonstrado nas tabelas 14 e 15.

**Tabela 14** – Apresentação dos intervalos de confiança para as médias populacionais ao nível de 95% de probabilidade e valores de referência para a coordenada x.

Pt	Intervalo de confiança (m)	Valor de referência (m)	Avaliação da tendência
1	$1129,258 \leq \mu \leq 1129,274$	1129,274	Não significativo
2	$1131,347 \leq \mu \leq 1131,359$	1131,353	Não significativo
3	$1133,436 \leq \mu \leq 1133,454$	1133,444	Não significativo
4	$1135,510 \leq \mu \leq 1135,528$	1135,525	Não significativo
5	$1137,604 \leq \mu \leq 1137,620$	1137,612	Não significativo
6	$1139,667 \leq \mu \leq 1139,699$	1139,692	Não significativo
7	$1141,787 \leq \mu \leq 1141,808$	1141,790	Não significativo
8	$1143,844 \leq \mu \leq 1143,864$	1143,860	Não significativo
9	$1145,936 \leq \mu \leq 1145,961$	1145,946	Não significativo
10	$1148,007 \leq \mu \leq 1148,026$	1148,032	Significativo
11	$1150,109 \leq \mu \leq 1150,126$	1150,117	Não significativo

**Tabela 15** – Apresentação dos intervalos de confiança para as médias populacionais ao nível de 95% de probabilidade e valores de referência para a coordenada y.

Pt	Intervalo de confiança (m)	Valor de referência (m)	Avaliação da tendência
1	$965,453 \leq \mu \leq 965,469$	965,458	Não significativo
2	$960,893 \leq \mu \leq 960,914$	960,897	Não significativo
3	$956,369 \leq \mu \leq 956,388$	956,373	Não significativo
4	$951,816 \leq \mu \leq 951,838$	951,831	Não significativo
5	$947,278 \leq \mu \leq 947,297$	947,279	Não significativo
6	$942,723 \leq \mu \leq 942,747$	942,740	Não significativo
7	$938,184 \leq \mu \leq 938,207$	938,177	Significativo
8	$933,629 \leq \mu \leq 933,650$	933,647	Não significativo
9	$929,078 \leq \mu \leq 929,108$	929,102	Não significativo
10	$924,529 \leq \mu \leq 924,550$	924,553	Significativo
11	$919,997 \leq \mu \leq 920,016$	920,002	Não significativo

Avaliando as tabelas 14 e 15, o ponto 7 apresenta tendência para componente y significativa e o ponto 10, as componentes x e y são significativas. Este comportamento não significa que ocorreu interferência do efeito corona gerado pelo campo elétrico da rede de transmissão.

O ponto 7 encontra-se distanciada a 5 m do eixo da rede elétrica e o ponto 10 distanciada a 20 m. Logo, analisando a localização destes pontos na figura 4, estes

vértices localizam-se somente em um lado da linha de transmissão. Caso houvesse interferência do campo elétrico, os pontos 5 e 2 que estão situados no lado oposto da rede de transmissão, respectivamente, também deveriam demonstrar tendência significativa nas componentes x e y.

Outro aspecto a ser considerado, os pontos 4 e 8 (10 m em relação ao eixo da rede) que possuem a maior influência do campo elétrico não apresentaram tendência significativa para as componentes x e y conforme apresentado nas tabelas 14 e 15

Analisando o motivo deste comportamento tendencioso dos pontos 7 e 10, verificou-se nos relatórios de processamento e ajustamento geodésico que os pontos foram rastreados no dia 23 de Julho de 2011, com horário de início às 16h 38min. No momento do levantamento utilizavam-se dois receptores GNSS de dupla frequência simultaneamente da mesma marca, modelo e características nominais do fabricante para efetuar o levantamento geodésico. Assim, estes pontos foram rastreados no mesmo período apresentando um aumento das discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL na sessão de rastreio a 45 min, caracterizando algum problema pontual na recepção dos sinais GNSS naquele instante.

### 3.3 Resultados das análises estatísticas complementares

Na obtenção de uma avaliação adimensional referente ao grau de associação entre as variáveis envolvidas, foi empregado o coeficiente de correlação de Pearson para as coordenadas x e y entre as diferentes sessões de rastreio. Nessa análise o r apresentou valor +1 para as coordenadas x e y para todas as sessões de rastreio (1 min, 5 min, 15 min, 30 min, 45 min e 60 min) em todos os pontos. Isso significa que há uma perfeita correlação linear positiva entre as amostras.

Outra avaliação adimensional realizada refere-se ao grau de exatidão entre as variáveis envolvidas. Ela está relacionada aos valores estimados e observados através do índice de concordância para as coordenadas x e y, entre as diferentes sessões de rastreio. Neste cálculo o c apresentou valor +1 em todos os períodos de rastreio para as coordenadas x e y. Isto significa que há uma mínima amplitude dos erros entre os dados propostos e os observados.

## 4. CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia empregada e os resultados obtidos, as principais conclusões são:

- i) A metodologia empregada permite a verificação da influência do efeito corona, gerado em redes elétricas de alta tensão, na exatidão das coordenadas planimétricas de pontos situados sobre elas, quando obtidas com receptores GNSS de dupla frequência;
- ii) Quando do emprego da metodologia e para o equipamento usado, não se detecta influência significativa na exatidão das coordenadas desses pontos devido ao

efeito corona ou de qualquer efeito eletromagnético gerado em redes elétricas de alta tensão de 69 kV.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSALMAN, A.S.A. Effects of electric power lines on the accuracy of GPS positioning. *Survey Review*, 2001.
- ANDRADE, J. B. de. *Fotogrametria*. Curitiba, SBEE, 1998. 258p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.
- BUENO, R. O efeito do multicaminhamento na determinação de coordenadas no posicionamento por satélites. *Revista MundoGeo*, 2000. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/o-efeito-do-multicaminhamento-na-determinacao-de-coordenadas-no-posicionamento-por-satelites/>>. Acesso em: 07 de Outubro de 2014.
- COSTA NETO, P. L.O. *Estatística*. 3ª edição, São Paulo: Editora Blücher, 2002, 266 p.
- DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L. e GREGÓRIO, F. V. Transformação de Coordenadas Geodésicas em Coordenadas no Plano Topográfico Local pelo Métodos da Norma NBR 14166:1998 e o de Rotações e Translações. *Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife, 2010.
- DAL'FORNO, G.L.; SAMPAIO, M.I.R.; AGUIRRE, A.J.; HILLEBRAND, F.L. Levantamento planialtimétrico no plano topográfico local: estudo comparativo dos resultados obtidos a partir de métodos geodésicos e topográficos. *GAEA*, São Leopoldo: Ed.UNISINOS, 2009, p. 51-60.
- DEPARTMENT OF TRANSPORTATION OF STATE NEW JERSEY. *Survey Manual: Chapter 4 – GPS Surveys*. Disponível em: <<http://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/survey/Chapter4.shtm>>, State of New Jersey, 2002-2012. Acesso em: 07 de junho de 2012.
- EARTH OBSERVATION MAGAZINE. GPS Questions and Answers. Outubro de 1995. 4(10): 55. Disponível em: <[http://www.eonline.com/Common/Archives/1995/oct/95oct\\_gps.html](http://www.eonline.com/Common/Archives/1995/oct/95oct_gps.html)>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.
- EUPOS - European Position Determination System. *Guidelines for Single Site Design*. Berlin: International EUPOS® Steering Committee, 2008, 22 p.
- GALO, M; DAL POZ, A. P; FERREIRA, F.M. Uso de feições no controle de qualidade em cartografia. *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia*, Porto Alegre, RS, 2001, p 7-12.
- GEMAEL, C. *Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas*. Curitiba: Editora UFPR, 1994. 319 p.
- HOFMANN-WELLENHOF, B. *Global positioning system: theory and practice*. New York: Springer-Verlag Wien, 2001, 382 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/recom\\_gps\\_internet.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/recom_gps_internet.pdf)>. Acesso em: 07 de outubro de 2014.
- JAKELI, C. *Geometric Reference Systems*. Division of Geodesy and Geospatial Science. School of Earth sciences. Ohio State University, 2006. 195 p.
- MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo GNSS – Descrição, Fundamentos e Aplicações*. Fundação Editora UNESP, Sao Paulo. 2ª edição, 2008, 480 p.
- MONICO, J.F.G.; PÓZ, A.P.D.; GALO, M.; SANTOS, M.C.; OLIVEIRA, L.C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. *Boletim de Ciências Geodésicas, Seção Comunicações*, Curitiba, v. 15, nº 3, p. 469-483, jul-set, 2009.
- PACIFIC GAS AND ELECTRIC. *Pacific Gas and Electric Delta Distribution Planning Area Capacity Increase Substation Project Proponent's Environmental Assessment*. In: *Corona and induced current effects*. Cap. 16, p. 7, 2005.
- SILVA, J.M.; OLSEN, R.G. Use of Global Positioning System (GPS) Receivers Under Power-Line Conductors. *IEEE Transactions on Power Delivery*. Nº 4. October 2002. V. 17 P. 938 – 944. Disponível em: <<http://www.mendeley.com/research/global-positioning-system-gps-receivers-under-powerline-conductors/>>. Acesso em 20 de dezembro de 2011.
- SOARES, S.; BERRÊDO, R.C.; ATAÍDE, A.M.; FERREIRA, I. L. Avaliação de mapas urbanos produzidos a partir de imagens orbitais de alta resolução. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, SC, 2007, INPE, p. 679-685.
- SOUSA, C.R.M. *GPS: Uma análise do sistema e de potenciais fontes de interferência*. 2005. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- VELDUIZEN, E.M.V.; RUTGERS, W.R.E. *Corona discharges: fundamentals and diagnostics*. s. n., 2000.
- WAN, A.; IBRAHIM, F. *Assessing the Performance of MyRTKnet: Observations beneath High Voltage Power Lines*. Department of Geomatic Engineering, Faculty of Geoinformation Science & Engineering, University Technology Malaysia, Malaysia, 2010. Disponível em: <[https://www.academia.edu/763906/Assessing\\_the\\_Performance\\_of\\_MyRTKnet\\_Observations\\_beneath\\_High\\_Voltage\\_Power\\_Lines](https://www.academia.edu/763906/Assessing_the_Performance_of_MyRTKnet_Observations_beneath_High_Voltage_Power_Lines)>. Acesso em 22 de dezembro de 2014.
- WILLMONT, C.J. On the validation of models. *Physical Geography*. V. 2, N. 2, p. 184 – 194, 1981.