

# UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA O MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COM EMPREGO DE ESTAÇÃO TOTAL

MARIA LUCIANA DA SILVA <sup>1</sup>

WELISSON DOS SANTOS <sup>2</sup>

ALEXANDRE XAVIER <sup>3</sup>

ANDRÉA DE SEIXAS <sup>4</sup>

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE

Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica <sup>1,2,3</sup>

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação <sup>4</sup>

m.luciana1993@hotmail.com, welissonsantos93@gmail.com, alemachado86@gmail.com, aseixas@ufpe.br

---

**RESUMO** – O monitoramento de estruturas de construção civil requer, primeiramente, o conhecimento de sua posição em um determinado Sistema Geodésico de Referência, seguida da determinação estratégica de pontos de detalhes ou pontos-objeto que permitam, através de medições ao longo do tempo, identificar alterações e/ou deslocamentos da estrutura. Com base nesse pressuposto, escolheu-se uma área de estudo no *Campus* Recife da UFPE para desenvolvimento de uma metodologia de monitoramento de objetos desta natureza. Foram realizados métodos de georreferenciamento e de discretização do objeto. Como resultado, foram obtidas, no Sistema Topocêntrico Local em SIRGAS2000, coordenadas tridimensionais de quatorze alvos, dez sinalizados e quatro não sinalizados, materializados na parede externa do Laboratório de Topografia (LATOP), dos quais, dez pertencem ao campo de calibração de câmaras fotogramétricas da UFPE. Foram utilizados diferentes meios de processamento dos dados de forma a apresentar a qualidade dos resultados e discutir possíveis discrepâncias. Este trabalho tem como objetivo avaliar a determinação tridimensional dos pontos-objeto observados por diferentes métodos e apresentar suas respectivas coordenadas georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, trazendo assim, uma discussão dos métodos aplicados e dos respectivos resultados alcançados.

**ABSTRACT** - Monitoring of building structures requires, first, knowledge of their position in a given Geodetic Reference System, followed by the strategic determination of points of detail and object points that allow, through measurements over time, identify changes and / or displacements of the structure. On that context, it was chosen an area of study in Campus Recife UFPE to develop a methodology for monitoring objects of this nature. Georeferenced Methods were performed, as methods for discretization of the object. As a result, there were obtained the Topocentric System in SIRGAS2000, three-dimensional coordinates from fourteen targets, ten marked and four unmarked, materialized in the outer wall of the Topography Laboratory (LATOP), of which ten belong to calibration field of photogrammetric cameras from UFPE. It was used different means of processing data to show the quality of the results and discuss possible discrepancies. This study aims to evaluate the three-dimensional determination of object points observed by different methods and present their respective georeferenced coordinates in the Brazilian Geodetic System, thus bringing a discussion of the methods used and their results.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho é resultado de um experimento realizado no segundo semestre do ano de 2015 durante a disciplina CA 450 Levantamento e Locação de Obras, componente eletiva do curso de graduação em Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O experimento consistiu no levantamento planialtimétrico de 10 pontos sinalizados, pertencentes ao campo de pontos de calibração de câmaras fotogramétricas da UFPE, e de 4 pontos não sinalizados e identificados pela interseção de 4 arestas de uma janela localizada dentro da malha de pontos, todos localizados na parede externa do Laboratório de Topografia (LATOP) do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG).

O monitoramento de estruturas de construção civil requer, primeiramente, o conhecimento de sua posição em um determinado Sistema Geodésico de Referência, para isso se utilizam métodos topográficos, geodésicos e de ajustamento

das observações, de forma a garantir a qualidade dessa posição. Após a definição do Sistema de Referência é que se podem determinar pontos de detalhes ou pontos-objeto, que melhor se apliquem ao monitoramento da estrutura.

Segundo Silva & Segantine (2015), “por meio de medições topográficas de ângulos e distâncias, é perfeitamente possível determinar as coordenadas espaciais de pontos específicos de uma estrutura, para, a partir delas, calcular as deformações ou os deslocamentos da estrutura ao longo do tempo”. Desta forma, os procedimentos aqui descritos permitem o monitoramento do comportamento geométrico de obras civis como barragens, pontes, edifícios, viadutos, taludes, entre outros.

A definição de um Sistema de Referência a partir de um Sistema de Coordenadas e da materialização de um campo de pontos foi a etapa inicial do trabalho, seguida da análise rigorosa das coordenadas tridimensionais obtidas por diferentes Métodos Terrestres de Medição com o emprego de Estação Total, visto que, a definição do objeto de estudo mediante a definição de um Sistema de Referência, quando negligenciado, compromete as etapas seguintes de discretização do objeto e de monitoramento geométrico durante toda sua vida útil.

Para a definição dos pontos de referência foram realizados os métodos de interseção a ré e nivelamento trigonométrico. Para a realização destes foram necessários a utilização de pontos de apoio imediato determinados pelo método da poligonização com centragem forçada e nivelamento geométrico de alta precisão, anteriormente. Para a definição dos pontos de detalhes ou pontos-objeto foram realizados os métodos de irradiação 3D, interseção a vante e trilateração. Com a finalidade de alcançar a certificação dos resultados e assim garantir a qualidade posicional dos vértices e pontos-objeto observados, foi utilizado o Método dos Mínimos Quadrados, utilizando o modelo paramétrico nos diferentes métodos aplicados. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a determinação tridimensional dos pontos-objeto observados por diferentes métodos e apresentar suas respectivas coordenadas georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, trazendo assim, uma discussão dos métodos aplicados e dos respectivos resultados alcançados.

## 2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

### 2.1 Delimitação da área

O experimento foi realizado na área externa do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), localizado no *campus* Joaquim Amazonas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O local foi escolhido devido à existência de um campo de calibração de câmaras fotogramétricas (Figura 3) na parede externa do Laboratório de Topografia (LATOP). Além disso, próximo e no entorno desta área existem pontos de referência implantados utilizando o método da poligonização com centragem forçada e uma Referência de Nível determinada a partir de um circuito de nivelamento geométrico e contra-nivelamento de alta precisão. Servindo assim, de referência para o trabalho proposto.

### 2.2 Materiais

- 02 Estações totais Topcon GPT-3200N: precisão angular de 5” e precisão linear de 5mm + 5ppm\*D;
- 02 Estações totais ET North NXR: precisão angular de 5” e precisão linear de 5mm + 5ppm
- Acessórios para o levantamento de campo, tais como: prismas, bastões, tripés, suportes bastão – tripé, trena e apoio logístico;
- *Softwares*: AstGeoTop 2016 (GARNÉS, 2016), Adjust (Wolf & Ghilani, 1996), Microsoft Excel 2013 e Matlab 8.1.

### 2.3 Métodos

#### 2.3.1 Definição dos pontos de referência

##### a) Método da Interseção a Ré

Segundo Wolf & Ghilani (1996), o método da interseção a ré é um método utilizado para determinar as coordenadas de um ponto ocupado por um teodolito ou uma estação total. No caso deste trabalho as coordenadas foram determinadas utilizando-se o MMQ – modelo paramétrico a partir das medições combinadas de direção e distância. Para a realização deste método são necessários no mínimo dois pontos de controle e de coordenadas conhecidas, a partir do terceiro é possível ajustar pelo MMQ.

Partindo-se desse princípio, foi possível determinar as coordenadas das estações E1, E2, E3 e E4 ocupadas com uma Estação Total (Figura 3). Na Figura 1 pode-se visualizar a metodologia utilizada para a realização do método durante as operações de campo.

O método de interseção a ré subdivide-se em três situações que são descritas em (KAHMEN; FAIG, 1988) e que possuem como diferencial o tipo de observação que é coletada em campo. Neste trabalho, utilizou-se o método de interseção a ré por meio de medições combinadas de direção e distância para determinar as coordenadas dos vértices ocupados com as Estações Totais. Aplicando a transformação de similaridade entre coordenadas e o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), descritos respectivamente em (KAHMEN; FAIG, 1988) e (WOLF; GHILANI, 1996) foi possível determinar as coordenadas dos vértices E1, E2, E3 e E4.

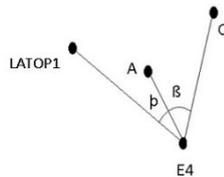


Figura 1 – Interseção a ré

Onde:

L1, A e C: São pontos com coordenadas conhecidas;

E4: vértice com coordenadas desconhecidas;

$\beta$  = Ângulo entre os alinhamentos E4A e E4C;

$p$  = Ângulo entre os alinhamentos E4L1 e E4A.

Neste trabalho foram materializados quatro vértices denominados de E1, E2, E3 e E4, dos quais se pudessem fazer medições a 10 alvos materializados na parede do LATOP e pertencentes ao campo de calibração de câmaras fotogramétricas (Figura 3), medições a 4 arestas de uma janela localizada dentro do campo de calibração de câmaras e medições a pelo menos 3 pontos de referência A, B, C e LATOP1, localizados no entorno da área e definidos pelo método de poligonação com centragem forçada.

**b) Método do nivelamento trigonométrico**

No nivelamento trigonométrico realiza-se o transporte altimétrico através da medição de ângulos zenitais ( $z$ ) e distâncias inclinadas ( $S^R$ ), levando em consideração a altura do equipamento ( $i$ ) utilizado e a altura do prisma refletor ( $t$ ) visado em relação ao terreno (KAHMEN; FAIG, 1988). A Figura 2 ilustra a realização do método em campo.

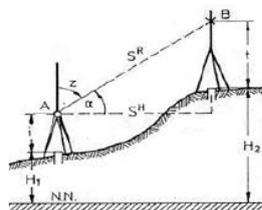


Figura 2 – Nivelamento trigonométrico. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988)

Para as distâncias curtas o desnível entre os pontos A e B pode ser calculado através da seguinte equação:

$$\Delta H_{AB} = S^R * \cos Z + (i - t) \quad (1)$$

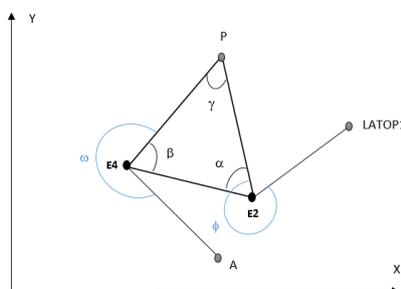
**2.3.2 Definição dos pontos-objeto**

Neste trabalho foram levantados 10 dos pontos sinalizados na parede (LIC1, L9C1, L1C11, L9C11, L3C4, L3C6, L3C8, L6C4, L6C6 e L6C8) e quatro vértices (J1, J2, J3 e J4) da janela central superior (Figura 1), estes últimos identificados a partir da interseção das quatro arestas da janela. A denominação dos pontos seguiu a definição de uma matriz formada por 9 linhas e 11 colunas, ou seja, LIC1, representa o alvo localizado na Linha 1 e Coluna 1. Para os vértices da janela, obedeceu a uma sequência horária de medição, tendo como ponto inicial o ponto de detalhe representado pelo canto superior esquerdo.

**a) Método da interseção a vante e ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados**

Após determinadas as coordenadas planimétricas das estações E2, E3 e E4 pelo Método de Interseção a Ré, pôde-se, através do método de interseção a vante descrito em KAHMEN & FAIG (1988), determinar as coordenadas planimétricas dos alvos materializados na parede do Laboratório de Topografia (LATOP) da UFPE a partir das interseções formadas pelos vértices E2 e E4, assim como as interseções formadas pelos vértices E3 e E4, respectivamente.

A Figura 3 foi adaptada de KAHMEN & FAIG (1988, pag. 227) e mostra a geometria formada durante a realização do experimento em campo e a interseção a vante planimétrica utilizando os vértices E2 e E4, assim como os vértices E3 e E4. Uma Foto da área com um exemplo de triangulação realizada também está ilustrada nesta Figura 3.



*Campo de calibração de câmaras fotogramétricas e posicionamento das estações no experimento em campo*



Foto: Outubro de 2015

Figura 3 – À esquerda, os elementos do triângulo e à direita, a configuração em campo na realização do método de interseção a vante.

Tem-se que,

- As coordenadas dos vértices LATOP1, A, E2, E3 e E4 são conhecidas;
- Durante o experimento foram medidos  $\omega$  e  $\phi$ ;  $\omega'$  e  $\phi'$ ;

- Deseja-se determinar as coordenadas planimétricas do ponto P através das Equações 2 a 6.

$$\begin{aligned} XP &= XE2 + \text{distE2P} * \text{sen}(AzE2P) \text{ ou } XP = XE3 + \text{distE3P} * \text{sen}(AzE3P) \text{ ou } XP = XE4 + \text{distE4P} * \text{sen}(AzE4P) \\ YP &= YE2 + \text{distE2P} * \text{cos}(AzE2P) \text{ ou } YP = YE3 + \text{distE3P} * \text{cos}(AzE3P) \text{ ou } YP = YE4 + \text{distE4P} * \text{cos}(AzE4P) \end{aligned} \quad (2)$$

Onde,

- (XE2, YE2) são coordenadas de E2, (XE4, YE4) são coordenadas de E4 e (XE3, YE3) são coordenadas de E3;
- AzE2P, AzE4P e AzE3P são, respectivamente, os azimutes dos alinhamentos E2P, E4P e E3P;

$$\begin{aligned} AzE2P &= AzE2LATOP1 + \phi \\ AzE4P &= AzE4A + \omega \end{aligned} \quad (3)$$

Ou, substituindo na configuração, as medições de E4 pelas medições de E3, caso em que os vértices do triângulo sejam E4, E3 e P, tem-se:

$$AzE3P = AzE3A + \phi$$

Obs.: É necessário fazer a análise de quadrante dos azimutes envolvidos no grupo de Equações (2) para que sejam estabelecidas condições, caso os valores resultem em ângulos negativos ou maiores que 360°.

- distE2P, distE4P e distE3P são, respectivamente, as distâncias da estação E2 para o alvo P, da estação E4 para o alvo P e da estação E3 para o alvo P, calculadas por lei dos senos.

$$\text{distE2E4} / \text{sen}(\gamma) = \text{distE4P} / \text{sen}(\beta) = \text{distE2P} / \text{sen}(\alpha)$$

Onde,

$$\beta = AzE4E2 - AzE4P \quad (4)$$

$$\alpha = AzE2P - AzE2E4 \quad (5)$$

$$\gamma = 180^\circ - (\beta + \alpha)$$

$$\text{distE2E4} = \sqrt{((\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2)} \quad (6)$$

Neste trabalho utilizou-se também o módulo “Interseção direta (vante)” do *software* AstGeoTop (GARNÉS, 2016) para o cálculo das coordenadas 3D dos pontos-objeto. Inicialmente são processadas as coordenadas planimétricas e em seguida as coordenadas altimétricas. O módulo disponibiliza também o processamento pelo MMQ utilizando o modelo paramétrico, informando também as incertezas obtidas para cada coordenada. A utilização deste módulo serviu de controle e possibilitou a comparação entre as distâncias inclinadas medidas com a Estação Total no modo sem prisma e as distâncias calculadas pelo *software* no ajustamento, assim como a comparação entre as distâncias reduzidas ao plano horizontal do instrumento e as distâncias calculadas a partir da triangulação das observações realizadas.

#### b) Ajustamento pelo MMQ – modelo paramétrico – método da interseção linear

Durante o experimento em campo, foram realizadas medições de direções e distâncias, embora essas últimas tenham sido calculadas por lei dos senos no processamento de interseção a vante (item 2.3.2 b). Além de permitir a comparação com as calculadas por lei dos senos, as distâncias medidas também possibilitaram a realização do método de ajustamento por mínimos quadrados descrito em KAHMEN & FAIG (1988), referente ao método de interseções lineares.

Para cada distância medida e reduzida ao horizonte, formou-se uma equação de distância do tipo (Equação 7):

$$S_{ij0} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (7)$$

Considerou-se as medições de distâncias realizadas das estações E2, E3 e E4 para os alvos na parede, logo, foram formadas 3 equações do modelo acima para o ajustamento das coordenadas de cada alvo.

O modelo matemático descrito em KAHMEN & FAIG (1988) para ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados de uma trilateração está apresentado na Equação 8:

$$V_i = a_{i1}(dx) + a_{i2}(dy) + a_{i3}(dq) - l_i \quad (8)$$

Onde,

$$a_{i1} = \frac{X_0 - X_i}{S_{ij0}} \quad a_{i2} = \frac{Y_0 - Y_i}{S_{ij0}} \quad a_{i3} = S_{ij0} * (0,001) \quad (9)$$

$$l_i = S_{ij} - S_{ij0} \quad (10)$$

$S_{ij}$  é a distância medida com o instrumento de medição;

(X0, Y0) são as coordenadas que serão ajustadas, neste caso, foram utilizadas as obtidas por interseção a vante (Equações 2 a 6);

(Xi, Yi) são as coordenadas do ponto Pi do qual foi medida a distância ao alvo, neste caso foram utilizadas as coordenadas de E2, E3 e E4;

Se o modelo é linear pode-se escrever:

$$V = A * X - l \quad (11)$$

Onde,

$$A = \begin{matrix} ai1(1,1) & ai2(1,1) & ai3(1,1) \\ ai1(2,1) & ai2(2,1) & ai3(2,1) \\ ai1(3,1) & ai2(3,1) & ai3(3,1) \end{matrix} \text{ (matriz dos coeficientes)} \quad X = \begin{matrix} dx \\ dy \end{matrix} \text{ (Vetor das correções dos parâmetros)}$$

Fazendo:

$$N = A^t * A \tag{12}$$

$$n = A^t * l \tag{13}$$

$$X = N^{-1} * n \tag{14}$$

Onde,

N é a matriz dos coeficientes das equações normais;

n é o vetor dos termos independentes;

l é o vetor da diferença entre o vetor da distâncias medidas e o vetor das distâncias calculadas;

e = número de equações ;

u = número de incógnitas ;

Por fim, determina-se os desvios-padrão (S(x), S(y) ) , das incógnitas e as coordenadas ajustadas (X, Y):

$$S(x) = \sqrt{S0^2 * N^{-1}(1,1)} \tag{15}$$

$$S(y) = \sqrt{S0^2 * N^{-1}(2,2)} \tag{16}$$

$$X = X0 + dx$$

$$Y = Y0 + dy$$

### b) Método da irradiação 3D

O método da irradiação ou método polar é utilizado para a determinação de pontos de detalhes. O método 3D consiste na medição de uma distância inclinada, de um ângulo vertical zenital e de uma direção horizontal (ESPARTEL, 1978).

A partir do alinhamento formado de cada vértice determinado pelo método da interseção a ré (E1, E2, E3 e E4) e o vértice A foi possível visualizar os pontos-objeto e determinar as Coordenadas X, Y e H. O vértice A foi escolhido como alinhamento ré, pois o mesmo possui altitude ortométrica determinada anteriormente com o método de nivelamento geométrico de alta precisão a partir de uma RN localizada no meio fio e em frente à Prefeitura da Universidade Federal de Pernambuco. Neste trabalho utilizou-se também o módulo “Levantamento Planialtimétrico” do *software* AstGeoTop (GARNÉS, 2016) para o cálculo das coordenadas 3D dos pontos-objeto pelo método da irradiação. Neste módulo são processadas as coordenadas planimétricas (X, Y) e as coordenadas altimétricas (H). A utilização deste módulo serviu de controle e possibilitou a comparação entre as distâncias horizontais reduzidas ao plano horizontal do equipamento determinadas com a Estação Total no modo sem prisma e as distâncias horizontais calculadas pelo *software* no módulo “Interseção Direta – Vante” a partir da triangulação das observações realizadas, assim como as distâncias horizontais calculadas a partir de um módulo programado no Matlab e utilizadas no método da interseção a vante.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Determinação dos pontos de referência

#### a) Método da Interseção a Ré e Método do Nivelamento Trigonométrico

As coordenadas dos vértices da poligonal A, B, C e LATOP1(Figura 4) processadas e georreferenciadas em SIRGAS2000 foram calculadas neste trabalho utilizando dados levantados anteriormente e o módulo “Levantamento Planimétrico” do *software* AstGeoTop (2016). Utilizando como origem Topocêntrica Local a origem definida em no *Campus* da UFPE. A Tabela 1 apresenta os resultados das coordenadas dos vértices da poligonal utilizada como referência. Estes vértices serviram de referência para a realização do método de interseção a ré empregado neste trabalho.

As coordenadas planimétricas dos pontos de referência considerados neste trabalho foram obtidas utilizando o método da interseção a ré, conforme descrito anteriormente. Os dados primeiramente foram processados via *software* Adjust (WOFG;GHILANI, 1996) e em seguida foi desenvolvido um código empregando o *software* Matlab, os resultados mostraram-se bastante semelhantes. Para o cálculo da altitude pelo método do nivelamento trigonométrico foi utilizada a Equação (1) e a altitude do vértice A foi utilizada como referência. Os resultados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 1 – Coordenadas Topocêntricas Locais SIRGAS2000, desvios padrão e erro posicional.

PARÂMETROS AJUSTADOS Xa, Desvios-padrão e Erro Posicional(1\*sigma)

Est.	X(m)	SigmaX(m)	Y(m)	SigmaY(m)	P. Posição(m)
LATOP1	149698,2487	0,0000	249588,6384	0,0000	0,0000
A	149679,8652	0,0042	249580,3139	0,0019	0,0046
C	149665,7762	0,0040	249550,8455	0,0039	0,0056
B	149689,5819	0,0022	249546,7306	0,0041	0,0046

Fonte: AstGeoTop 2016.



Figura 4 – Localização dos vértices da poligonal A, B, C e LATOP1 próxima a parede externa do LATOP. Fonte: AstGeoTop 2016 e Imagem Google Earth 2016.

Tabela 2 – Coordenadas Planimétricas dos pontos de referência obtidas via *software* Adjust e via *software* Matlab, respectivas discrepâncias e as altitudes resultantes do método de nivelamento trigonométrico.

Estação	Software Adjust				Software Matlab				$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	H (m)
	X (m)	Y (m)	O <sub>x</sub>	O <sub>y</sub>	X (m)	Y (m)	O <sub>x</sub>	O <sub>y</sub>			
E4	149675,89	249588,14	0,007	0,007	149675,89	249588,14	0,006	0,006	0,001	0,001	9,7419
E3	149679,79	249583,21	0,014	0,014	149679,79	249583,22	0,003	0,003	0,004	0,008	9,6705
E2	149683,28	249583,78	0,008	0,008	149683,28	249583,79	0,007	0,007	0,001	0,001	9,7199
E4	149686,42	249587,11	0,005	0,005	149686,42	249587,11	0,005	0,005	0,000	0,000	9,7814

### 3.2 Determinação dos pontos-objeto

#### a) Método da Interseção a vante

Não houveram discrepâncias entre os resultados obtidos pelo método de interseção a vante processado no *software* MATLAB e descrita no item 2.3.2 b) e os resultados obtidos no *software* AstGeoTop 2016, logo, as coordenadas obtidas encontram-se na Tabela 3, na situação em que se consideraram as medições das estações E2 e E4 (Figura 3).

O método da interseção a vante também foi processado no *software* AstGeoTop 2016 utilizando-se o módulo “Interseção direta – Vante”. A Tabela 4 apresenta os resultados planimétricos alcançados para a medição dos alvos a partir das estações E2 e E4, a partir das estações E3 e E4, assim como os respectivos desvios padrão. A Tabela 4 mostra as coordenadas planimétricas no processamento e ajustamento com o *software* AstGeoTop e as diferenças  $\Delta X$  e  $\Delta Y$  entre as coordenadas, comparando os resultados alcançados na interseção a vante entre as estações 2-4 e 3-4. Como é possível perceber, os pontos das Linhas 3 e 6 (Colunas 4, 6 e 8), assim como os pontos na janela, mostraram os melhores resultados, com discrepâncias na ordem de milímetros ou menos. Com respeito à interseção realizada a partir das estações E2 e E4, todas as coordenadas apresentam desvio padrão de 8mm e todas coordenadas Y apresentam desvio padrão de 9mm. Com respeito à interseção realizada a partir das estações E3 e E4, todas as coordenadas X apresentam desvio padrão de 14mm e todas as coordenadas Y apresentam desvio padrão de 16mm. Com respeito as discrepâncias entre as coordenadas X e Y entre as duas situações de interseção a maior discrepância em X foi de 7cm para o ponto L1C11 e a maior discrepância em Y foi de 5,7mm para o ponto L1C1. E a menor discrepância em X foi em módulo de 2mm para o ponto L3C8 e a menor discrepância em Y foi em módulo de 1mm para o ponto J2. A Tabela 4 mostra os resultados calculados pelo AstGeoTop para altimetria: distância inclinada a partir de A (E2) e B (E4) para os pontos - objeto e altitudes dos pontos-objeto a partir de A (E2) e respectivos desvios padrão e a partir de B (E4) e seus respectivos desvios padrão.

A Tabela 5 apresenta os resultados calculados pelo AstGeoTop para altimetria: distância inclinada a partir de A (E3) e B (E4) para os pontos - objeto e altitudes dos pontos-objeto a partir de A (E3) e respectivos desvios padrão e a partir de B (E4) e seus respectivos desvios padrão. Na tabela também consta o resultado das discrepâncias entre os valores de H [m] calculados pelo AstGeoTop para um mesmo ponto entre as duas interseções (E2-E4 e E3-E4). A esquerda tem-se a discrepância na altimetria entre duas estações (E2 e E4) de uma mesma interseção, à direita entre as duas estações (E3 e E4) de uma mesma interseção. A maior discrepância entre as altitudes obtidas a partir das observações realizadas nas estações E2 e E4 foi em módulo de 18 cm no ponto L1C1 e a menor foi de 2,9cm no ponto L9C11. A maior discrepância entre as altitudes obtidas a partir das observações realizadas nas estações E3 e E4 foi de 1,5 cm no ponto J1 e a menor foi de 0mm no ponto J4.

Na Tabela 6 tem-se a comparação entre as distâncias inclinadas como lidas nos instrumentos (esquerda) e as discrepâncias destas (direita) com as calculadas pelo método de interseção a vante, quando é utilizado o processamento

da componente vertical no AstGeoTop e introduzidas nas Tabelas 4 e 5. Como o processamento foi realizado utilizando triangulações com bases distintas, ou seja, E2-E4 e E3-E4, percebe-se na Tabela 6 que as discrepâncias entre as distâncias inclinadas medidas e calculadas a partir do vértice E4 e demais pontos-objeto observados divergem na ordem do centímetro, uma vez que este vértice foi utilizado como ponto de referência nas duas triangulações formadas para a determinação dos respectivos pontos.

Tabela 3– Coordenadas planimétricas obtidas nas duas situações de medição com o método de interseção a vante e suas respectivas discrepâncias

ESTAÇÃO 2 E 4 – Unidade [m]					ESTAÇÃO 3 E 4 – Unidade [m]				DIFERENÇAS – Unidade [m]	
	X	$\sigma_x$	Y	$\sigma_Y$	X	$\sigma_x$	Y	$\sigma_Y$	$\Delta X$	$\Delta Y$
L1C1	149679,5703	0,00829	249593,7902	0,0099	149679,6078	0,014	249593,8477	0,01637	0,0375	0,0575
L9C1	149679,6083	0,00829	249593,7945	0,0099	149679,6451	0,014	249593,8503	0,01637	0,0368	0,0558
L1C11	149685,5394	0,00811	249593,175	0,0097	149685,6095	0,0148	249593,2115	0,01611	0,0701	0,0365
L9C11	149685,542	0,00812	249593,1077	0,0097	149685,5828	0,0148	249593,1288	0,01608	0,0408	0,0211
L3C4	149681,4024	0,00808	249593,6055	0,0098	149681,4063	0,0141	249593,6094	0,01627	0,0039	0,0039
L3C6	149682,5881	0,00802	249593,4888	0,0098	149682,5888	0,0142	249593,4893	0,01622	0,0007	0,0005
L3C8	149683,7615	0,00801	249593,3322	0,0098	149683,7593	0,0144	249593,3307	0,01616	-0,0022	-0,0015
L6C4	149681,4099	0,00808	249593,5948	0,0098	149681,4134	0,0141	249593,5983	0,01626	0,0035	0,0035
L6C6	149682,5954	0,00802	249593,4834	0,0098	149682,5957	0,0142	249593,4837	0,01622	0,0003	0,0003
L6C8	149683,7701	0,00801	249593,3259	0,0098	149683,7672	0,0144	249593,324	0,01616	-0,0029	-0,0019
J1	149682,1458	0,00803	249593,5395	0,0098	149682,1523	0,0141	249593,545	0,01624	0,0065	0,0055
J2	149683,1146	0,00801	249593,4282	0,0098	149683,1133	0,0143	249593,4272	0,0162	-0,0013	-0,001
J3	149683,1155	0,00801	249593,4299	0,0098	149683,1102	0,0143	249593,426	0,0162	-0,0053	-0,0039
J4	149682,1409	0,00803	249593,5406	0,0098	149682,1486	0,0141	249593,5472	0,01624	0,0077	0,0066

Fonte: AstGeoTop 2016

Tabela 4- Distâncias inclinadas calculadas a partir das estações de observação E2 e E4, coordenadas altimétricas obtidas a partir das duas estações de medição com o método de interseção a vante e respectivos desvios padrão e altitude dos pontos-objeto e respectivos desvios padrão. Unidade em [m].

	E2	E4	E2	E2	E4	E4		
Alvo_P	D,Incl(A-P)	D,Incl(B-P)	Cota_alvo/A	D,pad,cota/A	Cota_alvo/B	D,pad,cota/B	Cota_alvo	D,pad,C(alvo)
L1C1	11,485	7,830	15,361	0,0029	15,178	0,0027	15,265	0,1297
L9C1	10,689	6,819	10,356	0,0015	10,387	0,0015	10,372	0,0221
L1C11	10,473	11,596	15,162	0,0028	15,197	0,0027	15,180	0,0243
L9C11	9,623	10,886	10,379	0,0015	10,409	0,0015	10,394	0,0208
L3C4	10,388	8,244	13,931	0,0022	13,971	0,0022	13,951	0,0282
L3C6	10,125	9,008	13,919	0,0022	13,964	0,0022	13,941	0,0318
L3C8	9,966	9,831	13,927	0,0022	13,976	0,0022	13,952	0,0343
L6C4	10,041	7,825	12,150	0,0016	12,186	0,0015	12,168	0,025
L6C6	9,778	8,632	12,144	0,0016	12,181	0,0015	12,163	0,0258
L6C8	9,610	9,487	12,147	0,0016	12,186	0,0015	12,167	0,0271
J1	10,926	9,532	15,904	0,0031	15,950	0,0031	15,927	0,0324
J2	10,766	10,135	15,896	0,0031	15,947	0,0031	15,922	0,0363
J3	10,357	9,705	14,883	0,0026	14,939	0,0026	14,911	0,0394
J4	10,521	9,062	14,886	0,0026	14,924	0,0026	14,905	0,0272

Fonte: AstGeoTop 2016.

Tabela 5- Distâncias inclinadas calculadas a partir das estações de observação E3 e E4, coordenadas altimétricas obtidas a partir das duas estações de medição com o método de interseção a vante e respectivos desvios padrão, altitude dos pontos-objeto e respectivos desvios padrão, discrepâncias entre os valores de H [m] dos pontos-objeto observados das estações E2 e E4 e das estações E3 e E4, assim como as suas respectivas discrepâncias.

	E3	E4	E3	E3	E4	E4					
Alvo_P	DI(AP)	DI(BP)	HA	$\sigma_{HA}$	HB	$\sigma_{HB}$	HP	$\sigma_{HP}$	E2-E4	E3-E4	Entre interseções
L1C1	11,390	7,910	15,204	0,0036	15,218	0,0035	15,211	0,0101	-0,183	0,014	-0,054
L9C1	10,663	6,886	10,384	0,0016	10,379	0,0016	10,382	0,0034	0,031	-0,005	0,010
L1C11	12,270	11,680	15,220	0,0036	15,226	0,0035	15,223	0,0039	0,034	0,005	0,043
L9C11	11,505	10,932	10,408	0,0016	10,406	0,0016	10,407	0,0015	0,029	-0,002	0,013
L3C4	10,898	8,250	13,969	0,0027	13,973	0,0026	13,971	0,0026	0,040	0,004	0,020
L3C6	11,019	9,008	13,957	0,0027	13,964	0,0026	13,961	0,0047	0,045	0,007	0,019
L3C8	11,233	9,828	13,968	0,0027	13,975	0,0026	13,971	0,0053	0,049	0,008	0,020
L6C4	10,564	7,830	12,186	0,0017	12,186	0,0016	12,186	0,0005	0,035	0,001	0,018
L6C6	10,698	8,632	12,179	0,0017	12,181	0,0016	12,180	0,0014	0,037	0,002	0,017
L6C8	10,915	9,483	12,183	0,0017	12,185	0,0016	12,184	0,002	0,038	0,003	0,017
J1	11,639	9,542	15,939	0,0041	15,954	0,0041	15,947	0,0106	0,046	0,015	0,020
J2	11,767	10,133	15,935	0,0041	15,947	0,0041	15,941	0,0083	0,051	0,012	0,019
J3	11,393	9,698	14,933	0,0034	14,936	0,0033	14,934	0,0024	0,056	0,003	0,023

J4	11,260	9,074	14,928	0,0034	14,929	0,0033	14,928	0,0002	0,038	0,000	0,024
----	--------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------

Fonte: AstGeoTop 2016.

Tabela 6 – Discrepâncias entre as distâncias inclinadas medidas e calculadas.

	Como lido no instrumento			Diferença para E2-E4		Diferença para E3-E4	
	E2	E3	E4	E2	E4	E3	E4
	DI (medido)	DI(medido)	DI (medido)	$\Delta$ DI	$\Delta$ DI	$\Delta$ DI	$\Delta$ DI
L1C1	11,457	11,317	7,849	-0,028	0,019	-0,074	-0,061
L9C1	10,738	10,596	6,839	0,049	0,020	-0,067	-0,047
L1C11	10,530	12,204	11,629	0,057	0,033	-0,066	-0,051
L9C11	9,741	11,525	10,952	0,118	0,065	0,019	0,019
L3C4	10,551	10,981	8,322	0,163	0,078	0,083	0,072
L3C6	10,301	11,127	9,102	0,176	0,095	0,108	0,094
L3C8	10,155	11,358	9,936	0,189	0,105	0,126	0,108
L6C4	10,195	10,650	7,904	0,154	0,079	0,086	0,074
L6C6	9,946	10,800	8,719	0,168	0,087	0,102	0,087
L6C8	9,797	11,038	9,591	0,187	0,105	0,123	0,108
J1	11,105	11,747	9,633	0,178	0,101	0,108	0,091
J2	10,962	11,895	10,241	0,196	0,106	0,127	0,108
J3	10,542	11,520	9,802	0,184	0,096	0,127	0,104
J4	10,696	11,360	9,153	0,175	0,090	0,100	0,079

A maioria dos resultados tiveram discrepâncias consideráveis entre a observada pelo instrumento e a calculada pelo método da interseção a vante, provavelmente devido ao emprego de medição sem prisma em superfícies irregulares, sendo importante a análise do comportamento das medições de distâncias realizadas pelo distanciômetro eletrônico da Estação Total utilizada no modo sem prisma. Na situação E2-E4, tem-se para E2 variação das discrepâncias entre 2,8 cm (L1C1) mínimo e 19,6 cm (J2) máximo; para E4 variação entre 1,9 cm (L1C1) mínimo e 10,6 cm (J2) máximo. Na situação E3-E4, tem-se variação para E3 entre 1,9 cm (L9C11) mínimo e 12,7 cm (J2 e J3) máximo; e para E4 variação entre 1,9 cm (L9C11) mínimo e 10,8 cm (L3C8, L6C8 e J2) máximo.

#### b) Ajustamento pelo MMQ – modelo paramétrico – método da interseção linear

Utilizando o ajustamento pelo MMQ – modelo paramétrico descrito no item 2.3.2 b) e utilizando as distâncias inclinadas e reduzidas no plano horizontal do equipamento e as distâncias calculadas pelo método da interseção a vante, obtém-se os resultados das coordenadas descritas na Tabela 7 com seus respectivos desvios padrão.

Tabela 7- Resultado do ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados. Coordenadas a priori dos pontos-objeto levantados a partir dos vértices E2 e E4 (Figura 5).

ALVOS	AJUSTAMENTO COM USO DAS DISTÂNCIAS MEDIDAS				AJUSTAMENTO COM USO DAS DISTÂNCIAS CALCULADAS				$\Delta$ X	$\Delta$ Y
	X	$\sigma_x$	Y	$\sigma_y$	X	$\sigma_x$	Y	$\sigma_y$		
L1C1	149679,6168	0,0001	249593,7786	0,0000	149679,5613	0,0686	249593,8124	0,0276	0,0556	0,0337
L9C1	149679,5893	0,0660	249593,8151	0,0267	149679,6002	0,0666	249593,8163	0,0269	0,0109	0,0012
L1C11	149685,5473	0,0503	249593,2071	0,0380	149685,5418	0,0743	249593,2036	0,0561	0,0055	0,0035
L9C11	149685,5527	0,0550	249593,2038	0,0418	149685,5428	0,0428	249593,1248	0,0325	0,0099	0,0789
L3C4	149681,3602	0,0637	249593,7326	0,0306	149681,4024	0,0051	249593,6073	0,0024	0,0422	0,1253
L3C6	149682,5713	0,0571	249593,6345	0,0311	149682,5886	0,0008	249593,4887	0,0003	0,0173	0,1458
L3C8	149683,7618	0,0545	249593,4926	0,0338	149683,7622	0,0023	249593,3308	0,0014	0,0005	0,1619
L6C4	149681,3772	0,0589	249593,7214	0,0284	149681,4102	0,0045	249593,5964	0,0022	0,0330	0,1251
L6C6	149682,5763	0,0570	249593,6269	0,0310	149682,5956	0,0004	249593,4834	0,0002	0,0192	0,1435
L6C8	149683,7720	0,0592	249593,4883	0,0367	149683,7694	0,0031	249593,3252	0,0019	0,0026	0,1631
J1	149682,1268	0,0516	249593,6794	0,0267	149682,1457	0,0075	249593,5422	0,0039	0,0189	0,1372
J2	149683,1015	0,0523	249593,5840	0,0301	149683,1141	0,0015	249593,4279	0,0009	0,0126	0,1561
J3	149683,1011	0,0480	249593,5827	0,0276	149683,1159	0,0059	249593,4275	0,0034	0,0148	0,1553
J4	149682,1128	0,0530	249593,6812	0,0274	149682,1404	0,0090	249593,5444	0,0047	0,0276	0,1369

Pôde-se perceber que os desvios- padrão das coordenadas X e Y, obtidos com uso das distâncias medidas, difere dos desvios-padrão das coordenadas X e Y obtidos com uso das distâncias calculadas, quase que na totalidade dos casos, em ordem de centímetros. Sendo a maior discrepância no desvio padrão em X do alvo L1C1, com 6 centímetros de diferença, e a menor discrepância no desvio padrão em Y do alvo L9C1, com 2 milímetros de diferença. Isso deve-se ao fato de existirem pontos em locais mais propícios para medição e outros em posições que comprometem a colimação no ponto, como aqueles muitos altos. Também se deve a erros intrínsecos do instrumento, uma vez que a discrepância na ordem do centímetro ocorreu em quase todas as medições de distâncias, com apenas uma exceção, a do ponto L9C1. Diante disso, cabem estudos mais aprofundados sobre a precisão das distâncias medidas com Medidores Eletrônicos de Distância (MED) envolvendo o método de distâncias aos alvos sem a utilização de prismas, caso deste trabalho.

#### c) Irradiações 3D

Nesta seção são apresentados os resultados planialtimétricos referentes aos pontos-objeto, obtidos utilizando o método da irradiação 3D e processados via *software* AstGeoTop, tais resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Coordenadas dos pontos irradiados.

Vértices	Coordenadas planimétricas a partir de (E4)		Coordenadas planimétricas a partir de (E3)		Coordenadas planimétricas a partir de (E2)		Coordenadas planimétricas a partir de (E1)	
	X (m)	Y (m)						
L1C1	149679,579	249593,803	149679,61	249593,778	149679,589	249593,768	149679,551	249593,833
L9C1	149679,620	249593,811	149679,647	249593,783	149679,600	249593,844	149679,587	249593,839
L1C11	149685,568	249593,190	149685,579	249593,157	149685,560	249593,224	149685,548	249593,229
L9C11	149685,600	249593,137	149685,594	249593,145	149685,578	249593,220	149685,563	249593,221
L3C4	149681,454	249593,657	149681,420	249593,689	149681,382	249593,761	149681,367	249593,752
L3C6	149682,659	249593,545	149682,617	249593,590	149682,585	249593,658	149682,569	249593,652
L3C8	149683,845	249593,387	149683,805	249593,444	149683,779	249593,513	149683,764	249593,512
L6C4	149681,466	249593,650	149681,427	249593,682	149681,390	249593,747	149681,372	249593,747
L6C6	149682,663	249593,538	149682,624	249593,582	149682,593	249593,650	149682,575	249593,649
L6C8	149683,857	249593,383	149683,813	249593,437	149683,788	249593,511	149683,772	249593,509
J1	149682,213	249593,597	149682,175	249593,640	149682,137	249593,701	149682,126	249593,695
J2	149683,190	249593,483	149683,150	249593,538	149683,120	249593,605	149683,100	249593,601
J3	149683,187	249593,482	149683,148	249593,540	149683,121	249593,602	149683,101	249593,589
J4	149682,203	249593,594	149682,170	249593,639	149682,131	249593,704	149682,118	249593,697

Fonte: AstGeoTop 2016.

Os valores apresentados na Tabela 8 mostraram a ocorrência de valores discrepantes nas coordenadas X e Y, tais discrepâncias assim como respectivos desvios padrão podem ser visualizados na Tabela 9 a seguir. Ressalta-se que as coordenadas foram determinadas pelo método da irradiação utilizando o modo de medição de distância sem prisma.

Devido aos valores discrepantes encontrados utilizando o método da irradiação 3D (Tabela 9), optou-se por convencionar o valor da média aritmética entre os valores obtidos, considerando diferentes estações. Desse modo as coordenadas planimétricas dos vértices considerados podem ser visualizadas na Tabela 10, assim como os respectivos desvios padrão.

O nivelamento trigonométrico foi empregado neste trabalho para determinar as coordenadas altimétricas das estações ocupadas e dos pontos-objeto. O método empregado em campo utilizou o vértice denominado, A, como Referência de Nível e determinado anteriormente. A partir da RNA foram determinadas as altitudes das estações E4, E3, E2, E1 e dos pontos-objeto.

Tabela 9 – Discrepâncias planimétricas obtidas utilizando as estações E4, E3, E2 e E1. Unidade em [m].

Vértice	$\Delta X$ (4-3)	$\Delta Y$ (4-3)	$\Delta X$ (4-2)	$\Delta Y$ (4-2)	$\Delta X$ (3-2)	$\Delta Y$ (3-2)	$\Delta X$ (4-1)	$\Delta Y$ (4-1)	$\Delta X$ (3-1)	$\Delta Y$ (3-1)	$\Delta X$ (2-1)	$\Delta Y$ (2-1)
L1C1	0,031	0,025	0,01	0,035	0,021	0,01	0,028	0,030	0,059	0,055	0,038	0,065
L9C1	0,027	0,028	0,02	0,033	0,047	0,061	0,033	0,028	0,060	0,056	0,013	0,005
L1C11	0,011	0,033	0,008	0,034	0,019	0,067	0,020	0,039	0,031	0,072	0,012	0,005
L9C11	0,006	0,008	0,022	0,083	0,016	0,075	0,037	0,084	0,031	0,076	0,015	0,001
L3C4	0,034	0,032	0,072	0,104	0,038	0,072	0,087	0,095	0,053	0,063	0,015	0,009
L3C6	0,042	0,045	0,074	0,113	0,032	0,068	0,090	0,107	0,048	0,062	0,016	0,006
L3C8	0,04	0,057	0,066	0,126	0,026	0,069	0,081	0,125	0,041	0,068	0,015	0,001
L6C4	0,039	0,032	0,076	0,097	0,037	0,065	0,094	0,097	0,055	0,065	0,018	0,000
L6C6	0,039	0,044	0,07	0,112	0,031	0,068	0,088	0,111	0,049	0,067	0,018	0,001
L6C8	0,044	0,054	0,069	0,128	0,025	0,074	0,085	0,126	0,041	0,072	0,016	0,002
J1	0,038	0,043	0,076	0,104	0,038	0,061	0,087	0,098	0,049	0,055	0,011	0,006
J2	0,04	0,055	0,070	0,122	0,03	0,067	0,090	0,118	0,050	0,063	0,020	0,004
J3	0,039	0,058	0,066	0,120	0,027	0,062	0,086	0,107	0,047	0,049	0,020	0,013
J4	0,033	0,157	0,072	0,222	0,039	0,065	0,085	0,215	0,052	0,058	0,013	0,007

Tabela 10 – Média dos valores planimétricos obtidos usando o método da irradiação a partir das estações E4, E3, E2 e E1 e respectivos desvios padrão.

Vértice	X (m)	Y (m)	O <sub>x</sub>	O <sub>y</sub>	H (E4)	H (E3)	H (E2)	H (E1)
L1C1	149679,58	249593,8	0,025	0,029	15,188	15,178	15,351	15,196
L9C1	149679,61	249593,82	0,026	0,028	10,385	10,389	10,352	10,38
L1C11	149685,56	249593,2	0,013	0,033	15,208	15,198	15,185	15,222
L9C11	149685,58	249593,18	0,017	0,046	10,404	10,407	10,37	10,398
L3C4	149681,41	249593,72	0,039	0,05	13,997	13,992	13,975	14,005
L3C6	149682,61	249593,61	0,04	0,054	13,992	13,985	13,967	13,999
L3C8	149683,8	249593,46	0,035	0,061	14,005	14,000	13,98	14,013
L6C4	149681,41	249593,71	0,042	0,049	12,196	12,194	12,166	12,197
L6C6	149682,61	249593,61	0,039	0,055	12,191	12,189	12,162	12,192
L6C8	149683,81	249593,46	0,037	0,062	12,196	12,195	12,168	12,197
J1	149682,16	249593,66	0,04	0,049	16,000	15,985	15,981	16,005
J2	149683,14	249593,56	0,039	0,058	15,997	15,988	15,983	16,013

J3	149683,14	249593,55	0,037	0,054	14,976	14,975	14,951	14,98
J4	149682,16	249593,66	0,039	0,052	14,961	14,963	14,949	14,981

O cálculo das discrepâncias altimétricas entre a estação E2 e os demais pontos de referência utilizados, demonstrou que os valores altimétricos dos vértices obtidos através desta estação estavam com valores destoantes daqueles obtidos através das outras estações consideradas. Devido a este fato seus valores foram desconsiderados e as altitudes dos vértices visados foram obtidas através da média aritmética entre as altitudes obtidas a partir de E4, E3 e E1, tais informações podem ser visualizadas na Tabela 11. Este resultado explica porque as discrepâncias entre as altitudes obtidas a partir das estações E2 e E4 estão maiores do que as altitudes obtidas a partir das estações E3 e E4 (Tabela 5). Observando-se a Tabela 11 o menor desvio padrão altimétrico ocorreu no ponto L6C8 no valor de 0,001m e o maior desvio padrão ocorreu no ponto J2 no valor de 0,013m.

Tabela 11 – Discrepância entre as altitudes obtidas via estações E4, E3, E2 e E1, altitudes médias encontradas e respectivos desvios padrão.

Vértice	$\Delta H(4-3)$	$\Delta H(4-2)$	$\Delta H(4-1)$	$\Delta H(3-2)$	$\Delta H(3-1)$	$\Delta H(2-1)$	$\sigma_{\Delta H}$	H Média	$\sigma_H$
L1C1	0,010	0,163	0,008	0,173	0,018	0,155	0,083	15,187	0,009
L9C1	0,004	0,033	0,005	0,037	0,009	0,028	0,015	10,385	0,005
L1C11	0,010	0,023	0,014	0,013	0,024	0,037	0,010	15,209	0,012
L9C11	0,003	0,034	0,006	0,037	0,009	0,028	0,015	10,403	0,005
L3C4	0,005	0,022	0,008	0,017	0,013	0,030	0,009	13,998	0,007
L3C6	0,007	0,025	0,007	0,018	0,014	0,032	0,010	13,992	0,007
L3C8	0,005	0,025	0,008	0,02	0,013	0,033	0,011	14,006	0,007
L6C4	0,002	0,030	0,001	0,028	0,003	0,031	0,015	12,196	0,002
L6C6	0,002	0,029	0,001	0,027	0,003	0,030	0,015	12,191	0,002
L6C8	0,001	0,028	0,001	0,027	0,002	0,029	0,015	12,196	0,001
J1	0,015	0,019	0,005	0,004	0,020	0,024	0,008	15,997	0,010
J2	0,009	0,014	0,016	0,005	0,025	0,030	0,009	15,999	0,013
J3	0,001	0,025	0,004	0,024	0,005	0,029	0,013	14,977	0,003
J4	0,002	0,012	0,020	0,014	0,018	0,032	0,010	14,968	0,011

#### 4 CONCLUSÕES

Os diversos métodos empregados na etapa de processamento dos dados permitiram uma ampla discussão sobre os resultados obtidos e propiciaram uma análise sobre a confiabilidade dos mesmos discutida no item 3. O tempo investido no planejamento dos métodos a serem realizados e no processamento e discussão dos dados é de fundamental importância, visto que, é impossível iniciar o monitoramento de uma obra de engenharia civil sem a devida homologação dos resultados obtidos. Analisando a qualidade dos dados observados e dos resultados obtidos por diferentes métodos percebeu-se algumas divergências. Observou-se que na planimetria, o método da interseção a vante apresentou melhores resultados a partir da triangulação realizada nos vértices E2 e E4, como mostra a Tabela 3, em detrimento do método da interseção linear e do método da irradiação, cujos resultados são apresentados na Tabelas 7 e 10, respectivamente. Na altimetria os melhores resultados também foram obtidos utilizando o método da interseção a vante, agora com a triangulação realizada a partir dos vértices E3 e E4, como mostra a Tabela 5, em detrimento do método da irradiação, cujos resultados encontram-se na Tabela 11. Portanto, como os métodos da interseção linear e da irradiação requerem a medição de distâncias, ressalta-se a necessidade de um estudo apropriado do método do pulso utilizado com emprego de MED, uma vez que foi constatado que estes métodos obtiveram desvios padrão inferiores ao atingidos com o método da interseção a vante.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Projeto PQ-Multiusuários Edital 2014 Propesq / UFPE.

Aos Laboratórios LAGEO e LATOP pela concessão dos equipamentos e acessórios utilizados.

#### REFERÊNCIAS

- ABNT: **NBR 13.133 – Normas Técnicas para a Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro. 1994.
- ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Editora Globo, 1987.
- GARNÉS, S. J. A. **AstGeoTop. Software**. Recife-PE: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Ed. Walter de Gruyter. Berlin, 1988.
- SILVA, I. da; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia Para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática**. Editora Campus. 1ª Ed., 2015.
- WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. **Adjustment Computations: statistics and least squares in surveying and GIS**. John Wiley and Sons, New York - USA, 564 pp, 1996.