

ANÁLISE DE UMA METODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA O TRANSPORTE DE COORDENADAS NO SISTEMA UTM NUM CADASTRO TÉCNICO URBANO ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DO ERRO DE FECHAMENTO DE POLIGONAIS

Rafael Vieira de Morais¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Programa de Pós-Graduação em Cadastro Técnico Multifinalitário – rvmorais@yahoo.com.br

RESUMO

O presente artigo é resultado de parte do trabalho de dissertação de mestrado do autor e propõe uma análise de uma metodologia mais simplificada para o transporte de coordenadas no sistema UTM implantadas num Cadastro Técnico Urbano segundo avaliação do erro de fechamento de poligonais conforme prescrição da NBR13133. Como metodologia e com a finalidade de estudar o procedimento proposto, foram selecionados dados em três regiões críticas do fuso UTM, no meridiano central, no meridiano de secância e no meridiano extremo. Apresentam-se os testes efetuados, os resultados encontrados em cada caso e as análises pertinentes.

Palavras chaves: Transporte de coordenadas, Sistema UTM, Fechamento de poligonais.

ANALYSIS OF A METHODOLOGY SIMPLIFIED FOR THE TRANSPORT OF COORDINATES IN THE SYSTEM UTM IN AN URBAN CADASTRE THROUGH OF THE EVALUATION OF THE CLOSING MISTAKE OF TRAVERSES

ABSTRACT

The present article is resulted of part of the work of dissertation of the author's master's degree and proposes an analysis of a methodology more simplified for the transport of coordinates in the system UTM implanted in an Urban Cadastre according evaluation of the closing mistake according prescriptions of NBR13133. As methodology and with the purpose of studying the proposed procedure, were chosen located data in three critical areas in the UTM fuse, on the central meridian, on the secancy meridian and on the extreme meridian. The made tests are presented, the results found in each case and the pertinent analyses.

Keywords: Transport of coordinates, UTM System, Closure of traverses.

1 INTRODUÇÃO

Muitas projeções têm sido propostas na confecção da base cartográfica de um Cadastro Técnico Urbano (ver ROCHA, 1998). Dentre estas, as projeções TM (UTM, RTM, LTM) têm se destacado no mercado, ocupando um importante papel tanto em projetos de Cadastro Técnico quanto em obras de engenharia, como estradas, parcelamentos, locação de linhas transmissoras de energia elétrica,...

No entanto tem se observado um grande questionamento por parte de profissionais e empresas do ramo de mapeamento, quanto à metodologia a ser adotada para a realização do transporte de coordenadas no sistema TM a fim de compatibilizar os sistemas de referência e projeção dos equipamentos e materiais utilizados nos trabalhos, gerando muitas vezes produtos equivocados e na sua maioria das vezes incompatíveis com as prescrições da NBR13.133 (1994).

Em contrapartida, o emprego da metodologia correta para o transporte de coordenadas no sistema TM valendo-se das correções e reduções necessárias para se obter a distância plana TM a partir da distância horizontal coletada em campo, e o azimute plano TM a partir do ângulo horizontal (elipsóidico), se torna praticamente inviável devida à complexidade dos cálculos e volume de informação gerada, tornando este processo muito lento e moroso, visto que ainda não se tem no mercado um software de automação capaz de realizar este procedimento integrando dados advindos da topografia convencional e projeção cartográfica.

Neste contexto, o presente trabalho visa como objetivo principal apresentar uma metodologia simplificada para o transporte de coordenadas no sistema TM num Cadastro Técnico Urbano, negligenciando a correção referente à redução angular, analisando o erro de fechamento das poligonais segundo os requisitos da NBR 13133 e comparando os resultados com a metodologia padrão que considera a correção negligenciada na

metodologia proposta. As poligonais foram implantadas com a finalidade de se obter a Rede de Levantamento em um Cadastro Técnico Urbano, através da integração de dados obtidos via GPS para apoio de campo e dados advindos de poligonização topográfica. Como metodologia, com a finalidade de estudar o procedimento proposto, foram escolhidos dados localizados em três regiões críticas do fuso UTM, no município de Curitiba/SC próximo ao meridiano central, no município de Santa Terezinha de Itaipu/PR próximo ao meridiano extremo e no município de Paracatu/MG próximo ao meridiano de secância do fuso.

2 CARTA CADASTRAL E SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

O Cadastro Técnico Urbano (CTU) é constituído basicamente por duas partes distintas: A parte cartográfica, composta por cartas que indicam a divisão em parcelas do perímetro urbano do município; e a parte descritiva, contendo os registros dos atributos físicos e abstratos relativas às parcelas identificadas nas cartas.

A base cartográfica de um CTU é caracterizada pela carta cadastral municipal que segundo ROMÃO ET AL. (1996) é a carta planimétrica, em escala 1:1.000 ou maior, cujos elementos básicos são constituídos pelos pontos limites de propriedades e pontos de contorno de edificações, devidamente identificados e levantados em campo.

Para a confecção da carta cadastral é premissa básica que esta tenha sido mapeada segundo uma estrutura geodésica de referência; neste sentido BLACHUT ET AL. (1979), retratam que em levantamentos cadastrais, só são aceitáveis os levantamentos baseados em uma rede de referência permanentemente monumentada, caso contrário, o sistema é técnica e economicamente inadequado.

Consultando-se a norma técnica NBR 14.166 (1998) verifica-se que a estrutura geodésica de referência é caracterizada pela Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) e definida como a rede de apoio básico de âmbito municipal para todos os serviços que se destinam a projetos, cadastros ou implantações e gerenciamento de obras, sendo constituída por pontos de coordenadas planimétricas, materializadas no terreno, referenciados a uma única origem (Sistema Geodésico Brasileiro – SGB) e a um único sistema de representação cartográfica, permitindo a amarração e conseqüente incorporação de todos os trabalhos de topografia e cartografia na construção e manutenção da Planta Cadastral Municipal e Planta Geral do Município, sendo esta rede amarrada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), ficando garantida a posição dos pontos de representação e a correlação entre os vários sistemas de projeção ou representação.

Neste sentido PHILIPS (1996) cita uma ordem hierárquica propondo uma ordenação aos diversos seguimentos que compõem a RRCM, conforme pode ser visualizado na tabela 01:

Tabela 01 – Hierarquia das redes

ORDEM	NOME DA REDE
1 ^a	Rede Nacional de Referência
2 ^a	Rede Estadual de Referência
3 ^a	Rede de Referência Cadastral Municipal
4 ^a	Rede de Levantamento

Fonte: adaptada de Philips (1996)

Observando a tabela 01 notamos que a Rede de Levantamento é constituída pelos Pontos de Levantamento que são o produto final do processo de densificação dos pontos sendo geralmente estabelecida pelo método de poligonização. Dos Pontos de Levantamento são mapeados os elementos básicos e as informações territoriais necessárias que compõe a carta cadastral.

Assim, temos que a RRCM deve ser referenciada ao SGB, por conseguinte ela também deve ser concebida sob apenas uma superfície de referência, portanto faz-se necessário que quando da elaboração de um CTU se deseja integrar diversas tecnologias (GPS, Estações Totais), estes dados sejam obtidos ou transformados a uma única superfície de referência.

GEMAEL (1987) descreve que existem três superfícies a serem consideradas em operações geodésicas: A superfície física, o geóide e o elipsóide. O geóide é caracterizado pelo nível médio dos mares e possui forma irregular entre outros fatores devido às deficiências e excessos de massa em algumas de suas regiões, estas irregularidades trazem sérias dificuldades na execução dos cálculos geodésicos e por isso uma superfície de tratamento matemático mais simplificado é tomada como modelo para desenvolvimento dos trabalhos geodésicos. Esta superfície é o elipsóide de revolução, e é caracterizado pela rotação de uma elipse em torno do seu eixo menor. O elipsóide é caracterizado pelas coordenadas geodésicas ou elipsoidais, a saber: ϕ (latitude), λ (longitude) e h (altitude geodésica).

Já as operações topográficas, conduzidas sobre a superfície física da Terra, têm como referência nos cálculos topográficos, um plano horizontal de referência ou plano topográfico e é definido por um sistema de coordenadas plano-retangulares compostas pelo terno cartesiano: X (abscissa), Y (ordenada) e Z (cota ou altitude), sendo que o eixo Z coincide com a vertical do ponto de origem.

As relações para que os dados (grandezas geométricas) entre as superfícies elipsoidal e topográfica sejam utilizados de forma correta são tais que a distância horizontal deve ser reduzida ao elipsóide e o ângulo horizontal observado na superfície topográfica deve ser transformado em ângulo elipsóidico. No entanto, segundo GRIPP e SILVA (1994) as correções referentes ao ângulo horizontal (correção em função do desvio da vertical, e em função da altitude), podem ser desprezadas devido às curtas distâncias usuais em engenharia e ao valor moderado das altitudes brasileiras.

A relação matemática entre a distância horizontal e a distância elipsoidal utilizada neste trabalho foi descrita por ASIN (1990) que propõem que a distância horizontal deve ser transformada em distância elipsoidal em dois tempos. Primeiro realiza-se a redução da distância horizontal ao nível do mar, depois se reduz a mesma ao elipsóide.

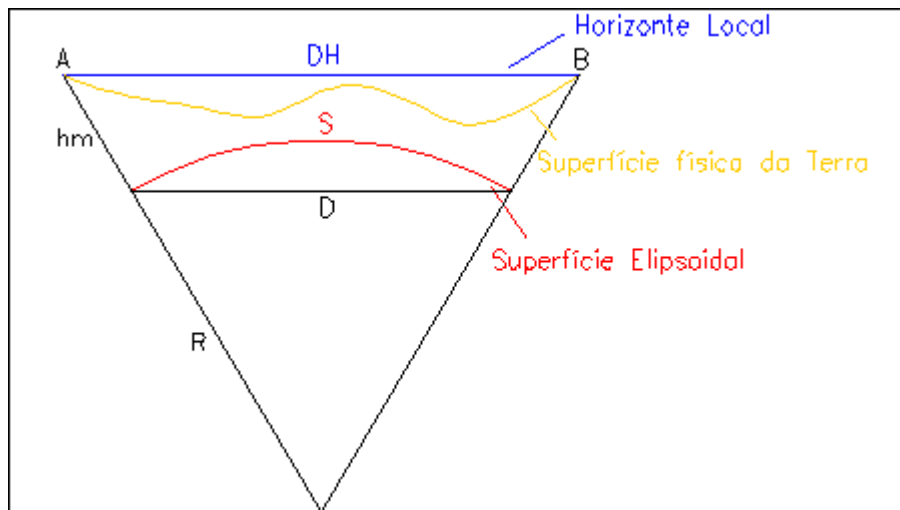


Figura 01 – Superfícies de referência – Elipsóide e Plano topográfico

Assim, da figura (01) temos que:

$$\frac{DH}{R + hm} = \frac{D}{R} \Rightarrow D = \frac{DH \cdot R}{R + hm} \quad (01)$$

Onde:

DH = Distância horizontal medida em campo;

hm = Altitude média entre os pontos A e B, sendo que esta grandeza deve estar referenciada ao geóide; entretanto, por não se conhecer o geóide, simplificada-se adota-se o elipsóide.

R = Raio de curvatura médio dado pelo teorema de Euler:

$$R = \frac{M \cdot N}{M \cdot \sin^2(Az_{AB}) + N \cdot \cos^2(Az_{AB})} \quad (02)$$

Depois de reduzida a distância ao nível do mar, ou seja, de posse da corda D, a redução ao arco do elipsóide é conhecida através da expressão:

$$S = D + \frac{D^3}{24R^2} \quad (03)$$

Onde:

S = Distância elipsoidal (arco);

R = Raio médio local.

No entanto, segundo SHERRER (1985) esta correção pode ser desprezada para distâncias curtas, por apresentar valor inexpressivo, devendo ser considerado em distâncias maiores que 10 km, conforme pode ser visualizado na Figura 02.

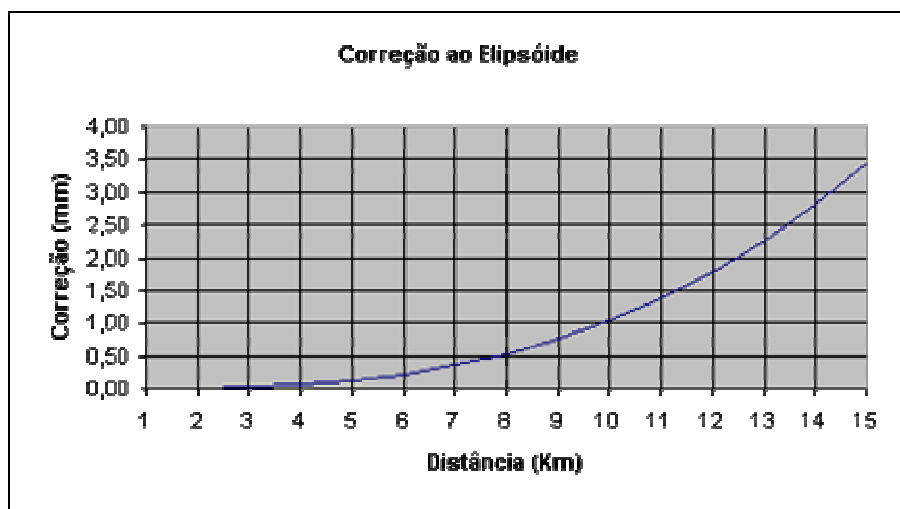


Figura 02 – Correção referente ao elipsóide

3 PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS PARA A CARTA CADASTRAL

Como foi descrito anteriormente a carta cadastral municipal é geralmente confeccionada em grande escala (1:1.000 a 1:10.000), assim a adoção de uma projeção para a representação desta carta deve levar em consideração as distorções que esta irá apresentar. ROBINSON e SALE (1995) cita que estas deformações afetam principalmente os ângulos, áreas, distâncias e direções. Portanto, qualquer que seja a projeção adotada, esta será provida de distorções, devendo-se então optar por aquela que atenda com mais propriedade a finalidade a que se destina. Para ROCHA (1998) diversos aspectos devem ser considerados na adoção da projeção cartográfica como: Localização – pólos, equador; forma – larga, estreita; dimensão – grande, pequena; O fim que se destina – propriedade, precisão.

Neste sentido BLACHUT ET AL. (1979) ressalta que um sistema de projeção para aplicações em áreas urbanas deverá possuir como características gerais: as correspondências biunívocas entre as superfícies (elipsóide e plano) conforme, deverá ser expressa em termos de fórmulas matemáticas que permitam cálculos numéricos com uma precisão pré-determinada; as distorções de ângulos e distâncias deverão ser minimizadas e de fácil cálculo; deve ser usado como superfície de referência um elipsóide e não uma esfera.

A NBR 14.166 (1998) determina que os elementos da rede de referência cadastral, da estrutura geodésica de referência, podem ter suas coordenadas plano-retangulares determinadas pelo sistema transversal de Mercator (UTM, RTM e LTM), e pelo Sistema Topográfico Local. No entanto, para o presente trabalho optou-se o estudo somente na projeção UTM, visto que as suas variantes RTM e LTM apresentariam o mesmo resultado para a análise proposta.

3.1 SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM (UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR)

Conforme DALAZOANA e FREITAS (2001) o Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) é uma modificação da Projeção Transversa de Mercator, e surgiu na década de 40 devido à necessidade de um sistema de projeção global para o apoio aos trabalhos geodésicos visando atender aos interesses militares. LOCH e CORDINI (2000) retratam que o termo universal é devido ao fato de que o sistema UTM poder ser utilizado para qualquer região da Terra, exceto às calotas polares. SMITH *apud* DALAZOANA e FREITAS (2001) retrata que o sistema foi concebido com a finalidade de minimizar as distorções em azimute e de manter as distorções em escala dentro de certos limites.

A seguir serão apresentadas as especificações e características do sistema UTM (BRASIL, 1975; OLIVEIRA, 1993):

1. Adota a projeção conforme (Mercator) transversa de Gauss, a qual a superfície de projeção utilizada é o cilindro que se encontra secante ao elipsóide;
2. Estabelece a Terra dividida em 60 fusos de seis graus de longitude e a origem localizada no antimeridiano de Greenwich;
3. O sistema é limitado pelos paralelos de 80°S e 84°N;
4. Meridiano Central e o Equador são representados por linhas retas, os demais paralelos e meridianos são linhas curvas;
5. O coeficiente de deformação linear no meridiano central (K_0) é 0,9996, gerando uma distorção linear

de 1/2.500;

6. A origem do sistema se encontra no cruzamento do equador com o meridiano central do fuso;

7. As abscissas são representadas pela letra E (Este) e as ordenadas são representadas pela letra N (Norte);

8. As coordenadas de origem para o hemisfério sul são 500.000m na direção leste (abscissas) e 10.000.000m na direção norte (ordenadas). As abscissas têm sentido crescente na direção leste e as ordenadas têm sentido decrescente na direção sul;

Em consequência da deformação linear ocorrida devido ao cilindro estar secante ao elipsóide, o sistema não possui escala única, apresentando reduções e ampliações. As reduções máximas ocorrem no meridiano central e as ampliações máximas nos extremos do fuso.

4 METODOLOGIA

As áreas de estudo escolhidas para o desenvolvimento do presente trabalho foram: No município de Curitiba em Santa Catarina, localizado próximo ao meridiano central do fuso, tendo como referência geográfica as coordenadas: latitude 27°16'58" Sul e longitude 50°35'04" Oeste com altitude média de 987m acima do nível do mar; No município de Santa Terezinha de Itaipu no Paraná, localizado próximo ao meridiano extremo do fuso, tendo como referência geográfica as coordenadas: latitude 25°25'00" Sul e longitude 54°25'00" Oeste com altitude média de 218 metros acima do nível do mar; No município de Paracatu em Minas Gerais, localizado próximo ao meridiano de secância do fuso, tendo como referência geográfica as coordenadas: latitude 17°13'01" Sul e longitude 46°52'17" Oeste com altitude média de 688 metros acima do nível do mar.

A metodologia adotada na execução do trabalho baseou-se na implantação de pontos de apoio de campo através da tecnologia GPS, para a partir deles gerar a Rede de Levantamento estabelecida pelo método da poligonização através de topografia convencional (estação total). As poligonais criadas foram do tipo 2 e 3 segundo a NBR 13.133. A partir dos dados obtidos pelo GPS e pela poligonização foram iniciadas as diversas análises e comparações que serão demonstradas no capítulo resultados.

4.1 PRIMEIRA ETAPA: PLANEJAMENTO, IMPLANTAÇÃO E RASTREIO

O planejamento para a implantação dos marcos foi realizado observando alguns cuidados como: Os marcos foram implantados em pares e de tal forma que permitiram a intervisibilidade total entre eles; Atentou-se para que a distribuição dos marcos fosse homogênea em relação ao perímetro urbano do município de forma que se tivesse um par de marcos para cada 3 km².

Assim, nesta etapa foram implantados no município de Curitiba 07 pares de marcos, no município de Santa Terezinha de Itaipu 03 pares de marcos e no município de Paracatu 13 pares de marcos.

O rastreamento foi executado adotando o posicionamento geodésico por equipamento GPS, utilizando-se do método relativo estático, onde o tempo de observação foi em média de 1h05min por ponto. Para maior confiabilidade na determinação das coordenadas dos marcos, cuidou-se para que o receptor base fosse instalado em marcos implantados por órgãos públicos onde foi realizada uma prévia consulta no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com a finalidade de definir estes marcos. Assim, no município de Curitiba a base utilizada foi o marco geodésico de referência do IBGE localizado em Campos Novos/SC com a denominação IBGE_SAT91863, em Santa Terezinha de Itaipu utilizou-se como base o marco geodésico de referência também do IBGE localizado em Foz do Iguaçu/PR denominado IBGE_SAT91880, quanto ao município de Paracatu/MG, visto que todos os marcos do IBGE que poderiam ser utilizados não foram encontrados ou se encontravam em estado de depredação, o marco geodésico base utilizado foi o da CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) com a denominação CEMIG 17021.

4.2 SEGUNDA ETAPA: LEVANTAMENTO DAS POLIGONAIS

Depois da coleta dos dados com o equipamento GPS Geodésico, ou seja, concluído o apoio terrestre partiu-se para o levantamento das poligonais. Várias poligonais foram criadas a fim de estabelecer a Rede de Levantamento, que servirá de base para os diversos trabalhos que por ventura a prefeitura vier a realizar como parcelamentos, arruamentos, projetos de engenharia,... No entanto para a análise do referido trabalho foram utilizadas somente uma poligonal em cada município. Estas poligonais foram levantadas utilizando-se Estação Total.

As poligonais implantadas seguiram as normas da NBR 13.133 e se enquadraram em três classes distintas, a saber:

Classe I PRC – “Apoio topográfico da rede de referência cadastral municipal, apoiada na rede geodésica densificada por poligonal classe IP ou processo equivalente”.

Classe II PRC – “Poligonais auxiliares da rede de referência cadastral municipal destinada à determinação dos pontos referenciadores de quadras ou de glebas”.

Classe II P – “Apoio topográfico para projetos básicos, executivos, como executado, e obras de

engenharia”.

Tabela 02 – Características das Poligonais

Classe	Metodologia		Desenvolvimento				Materialização
	Angular	Linear	Extensão Máxima	Lado Mínimo	Lado Médio	Número Máx. de Vértices	
I PRC	Método das direções com centragem forçada, três séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical.	Leituras recíprocas (vante e ré)	03 Km	100 m	≥ 200 m	16	Pinos de aço
II PRC	Método das direções: duas séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical.	Leituras recíprocas (vante e ré)	650 m	40 m	≥ 80 m	9	Pinos de aço
II P	Método das direções: Três séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical.	Leituras recíprocas (vante e ré). Correção de temperatura e pressão	15 Km	100 m	≥ 190 m	31	Pinos de aço

Fonte: Adaptada da NBR13.133 (1994)

Além da classificação apresentada acima as poligonais foram também caracterizadas por tipo, sendo dispostas em apenas um dos três tipos discriminados pela norma:

Poligonal Tipo 2 – “Apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo”.

O estabelecimento das tolerâncias para os erros de fechamento das poligonais também seguiu conforme preconiza a norma.

– Tolerância de fechamento angular:

$$T_a \leq a + b\sqrt{N} \quad (04)$$

Onde N é o número de vértices da poligonal, incluindo os de partida e de chegada.

– Tolerância de fechamento linear, após a compensação angular:

$$T_p \leq c + d\sqrt{L(Km)} \quad (05)$$

– Erro relativo, máximo aceitável, de fechamento linear, após compensação angular:

$$e_r \leq \frac{T_p}{L} \quad (06)$$

Os coeficientes a , b , c e d são determinados pela referida norma e variam segundo a classe e o tipo da poligonal.

Neste trabalho os levantamentos foram executados segundo o método das direções com visadas na posição direta e inversa e com leitura simples com apenas uma determinação de ângulo em apenas uma posição do limbo, apesar da NBR 13.133 prescrever que os ângulos devem ser lidos em séries de leituras conjugadas, já que as Estações Totais compensam os erros de eixo, excentricidade e graduação e os seus ângulos já serem uma média de leituras. O comprimento dos lados da poligonal foi medido através de leituras recíprocas de vante e ré, onde foram executadas três leituras de distâncias e adotada a média destas para realizar os cálculos das coordenadas dos pontos, na projeção UTM.

4.3 TERCEIRA ETAPA: DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES DAS POLIGONAIS

Esta etapa será descrita em duas partes separadamente caracterizando as metodologias analisadas no trabalho.

4.3.1 Metodologia para obtenção das coordenadas de uma rede de levantamento no sistema UTM aplicando o método padrão

O primeiro procedimento realizado nesta etapa foi a transformação das coordenadas dos pontos de referência de partida e de chegada, que se encontravam em Latitude e Longitude, para coordenadas UTM.

Na seqüência, realizou-se a redução das distâncias horizontais ao nível do mar utilizando a fórmula 01. Depois foram realizados os transportes de coordenadas, os quais obedeceram as seguintes seqüências de cálculo conforme pode ser visto na figura abaixo (seja um ponto 3 a determinar a partir de um par de coordenadas conhecidas 1 e 2):

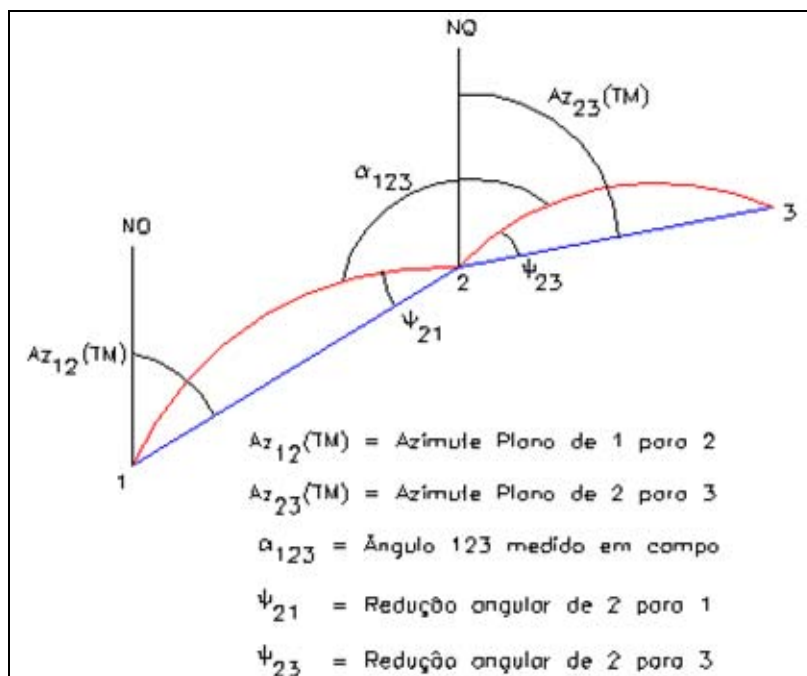


Figura 03 – Transporte de coordenadas no sistema UTM

Passo 1 – De posse das coordenadas de partida (E_1, N_1) e (E_2, N_2) calculou-se o azimute plano UTM de 1 para 2 através da fórmula:

$$Az_{1-2} = ATAN\left(\frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1}\right) \quad (07)$$

Passo 2 – Cálculo da redução angular do ponto 2 para o ponto 1 através da fórmula:

$$\Psi_{2-1} = 6,8755 \cdot 10^{-8} \Delta N_{12} (E_1^4 + 2E_2^4) XVIII \quad (08)$$

Onde:

$\Delta N_{12} = N_1 - N_2$

$E' = E - Cte$

Cte = Origem do sistema UTM em relação às abscissas (Eixo E)

$$XVIII = 10^{12} / (2MNK_0^2) \quad (09)$$

Onde:

K_0 = Coeficiente de deformação no meridiano central

M = Raio de curvatura da seção meridiana no ponto médio entre 1 e 2 dado por:

$$M = \left(\frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2(\sin^2 \Phi_m))^{3/2}} \right) \quad (10)$$

N = Raio de curvatura da seção 1º vertical no ponto médio entre 1 e 2 dado por:

$$N = \left(\frac{a}{(1 - e^2 (\sin^2 \phi_m))^{1/2}} \right) \quad (11)$$

Onde:

a = Semi-eixo maior do elipsóide,
e = Primeira excentricidade do elipsóide,
 ϕ_m = Latitude média entre o ponto 1 e 2.

Passo 3 – Cálculo da redução angular do ponto 2 para o ponto 3:

Este valor não pode ser determinado diretamente visto que ele depende das coordenadas do ponto 3 que queremos determinar, assim deve ser realizado o seguinte procedimento: Calcula-se as coordenadas provisórias do ponto 3 considerando apenas a redução angular do ponto 1 para o ponto 2 e em seguida calcula-se a latitude média entre os pontos 2 e 3 e finalmente calcula-se a redução angular do ponto 2 para o ponto 3 através da fórmula 08.

Passo 4 – Cálculo do azimute plano UTM definitivo do ponto 2 para o ponto 3 dado por:

$$AZ_{2-3} = AZ_{1-2} + \alpha + \Psi_{12} - \Psi_{23} \quad (12)$$

Passo 5 – Cálculo da distância plana UTM entre os ponto 2 e 3 pelas fórmulas:

$$D_{utm} = S \cdot m \quad (13)$$

Onde:

m = Fator de escala médio, dado por:

$$m = K_0 (1 + q_{XVIII}) \quad (14)$$

$$q = 1/3(q_1^2 + q_2^2 + q_1 q_2) \quad (15)$$

$$q_1 = 10^{-6} \cdot E_1', \quad q_2 = 10^{-6} \cdot E_2' \quad (16)$$

Passo 6 – Cálculo das coordenadas definitivas do ponto 3 pelas fórmulas:

$$N_3 = N_2 + D_{utm} \cdot \cos(AZ_{2-3}) \quad (17)$$

$$E_3 = E_2 + D_{utm} \cdot \sin(AZ_{2-3}) \quad (18)$$

4.3.2 Metodologia para obtenção das coordenadas de uma Rede de Levantamento no sistema UTM aplicando o método simplificado

Assim como no método padrão o primeiro procedimento realizado nesta etapa foi a transformação das coordenadas dos pontos de referência de partida e de chegada, que se encontravam em Latitude e Longitude, para coordenadas UTM.

Em seguida, realizou-se a redução das distâncias horizontais ao nível do mar utilizando a fórmula 01. Depois foram realizados os transportes de coordenadas, os quais obedeceram as seguintes seqüências de cálculo conforme pode ser visto na figura abaixo (seja um ponto 3 a determinar a partir de um par de coordenadas conhecidas 1 e 2):

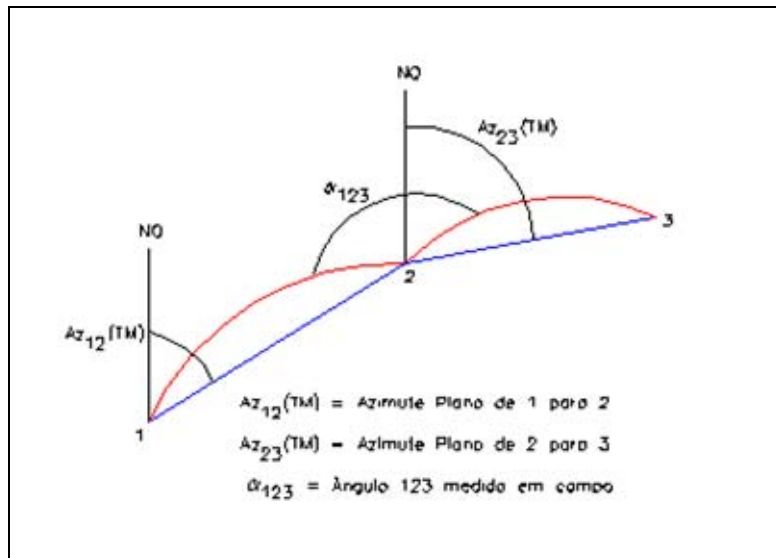


Figura 04 – Transporte de coordenadas no sistema UTM pela metodologia simplificada

Passo 1 – De posse das coordenadas de partida (E1, N1) e (E2, N2) calculou-se o azimute plano UTM de 1 para 2 através da fórmula 07.

Passo 2 – Cálculo do azimute plano UTM definitivo do ponto 2 para o ponto 3 dado por:

$$AZ_{2-3} = AZ_{1-2} + \alpha \quad (19)$$

Passo 3 – Cálculo da distância plana UTM entre os ponto 2 e 3 pela fórmula 13.

Passo 4 – Cálculo das coordenadas definitivas do ponto 3 pelas fórmulas:

$$N_3 = N_2 + D_{utm} \cos(AZ_{2-3}) \quad (20)$$

$$E_3 = E_2 + D_{utm} \cdot \text{sen}(AZ_{1-3}) \quad (21)$$

Com o simples propósito de diferenciar a metodologia demonstrada neste item, do método apresentado no item anterior, este será denominado método simplificado e o anterior método padrão.

4.4 QUARTA ETAPA: CÁLCULO E DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS DE FECHAMENTO ANGULAR E LINEAR DAS POLIGONAIS

Estes cálculos e procedimentos foram realizados em todas as poligonais utilizadas e comparados com a precisão exigida na NBR 13.133. Estes procedimentos também seguiram prescrição da referida norma, onde se adotou como método de compensação, primeiramente uma distribuição dos erros angulares pelos vértices das poligonais e, em seguida realizou-se a distribuição dos erros lineares igualmente por todas as projeções dos lados (ΔE e ΔN).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DE POLIGONAL NO MUNICÍPIO DE CURITIBANOS

No município de Curitiba a poligonal levantada em campo partiu dos vértices de referência CB6B e CB6A e chegou nos vértices CB5B e CB5A. A poligonal denominada Curitiba constou de 22 vértices e apresentou desenvolvimento curvo enquadrada na classe II P tipo 2.

Tabela 03 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal Curitiba utilizando o método padrão

Estação	Azimute (gms)	Distância (m)	UTM N	UTM E
CB6B	-	-	6980212,445	542163,887

CB6A	-	-	6980139,294	542202,082
P1	279,17108	36,0234	6980145,107	542166,531
P2	132,49565	37,4729	6980119,631	542194,011
P3	162,09529	209,4474	6979920,249	542258,161
P4	152,20513	120,6502	6979813,380	542314,156
P5	188,56471	89,7982	6979724,674	542300,191
P6	206,19496	225,6568	6979522,429	542200,102
P7	206,18592	243,6104	6979304,067	542092,102
P8	206,18052	269,6724	6979062,312	541972,612
P9	206,23089	181,2502	6978899,944	541892,062
P10	201,17466	161,7822	6978749,209	541833,304
P11	194,06574	191,2907	6978563,695	541786,651
P12	191,20198	124,1190	6978441,998	541762,248
P13	173,32299	246,5597	6978197,003	541789,982
P14	75,03585	240,4997	6978258,981	542022,358
P15	65,55366	79,1183	6978291,253	542094,595
P16	167,33341	166,3257	6978128,833	542130,426
P17	162,23375	247,8771	6977892,567	542205,403
P18	182,45070	29,8712	6977862,730	542203,968
P19	131,44379	42,0891	6977834,707	542235,372
P20	57,06136	57,8073	6977866,103	542283,911
CB5B	74,57004	39,0073	6977876,232	542321,580
CB5A	-	-	6977849,054	542226,009

Tabela 04 – Análise de fechamento da Poligonal Curitibaanos no Sistema UTM no método padrão

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	67,4 seg.	70,7 seg.
Linear	-0,0668 -0,0960	-
Linear absoluto	0,1169	0,2343
Relativo	1:25.996	1:12.971

Tabela 05 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal Curitibaanos utilizando o método simplificado

Estação	Azimute	Distância	UTM N	UTM E
CB6B	-	-	6980212,445	542163,887
CB6A	-	-	6980139,294	542202,082
P1	279,17108	36,0234	6980145,107	542166,531
P2	132,49566	37,4729	6980119,631	542194,011
P3	162,09530	209,4474	6979920,249	542258,161
P4	152,20513	120,6501	6979813,380	542314,156
P5	188,56471	89,7982	6979724,674	542300,191
P6	206,19496	225,6568	6979522,429	542200,102
P7	206,18593	243,6104	6979304,067	542092,102
P8	206,18052	269,6724	6979062,312	541972,612
P9	206,23088	181,2502	6978899,944	541892,062
P10	201,17465	161,7822	6978749,209	541833,304
P11	194,06574	191,2908	6978563,695	541786,651
P12	191,20197	124,1190	6978441,998	541762,248
P13	173,32298	246,5597	6978197,003	541789,982
P14	75,03584	240,4997	6978258,981	542022,358
P15	65,55366	79,1183	6978291,253	542094,595
P16	167,33340	166,3257	6978128,833	542130,426

P17	162,23374	247,8771	6977892,567	542205,403
P18	182,45070	29,8712	6977862,730	542203,969
P19	131,44378	42,0891	6977834,707	542235,372
P20	57,06135	57,8073	6977866,103	542283,911
CB5B	74,57004	39,0073	6977876,232	542321,580
CB5A	-	-	6977849,054	542226,009

Tabela 06 – Análise de fechamento da Poligonal Curitibaanos no Sistema UTM no método simplificado

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	66,9 seg.	70,7 seg.
Linear	-0,0667 -0,0956	-
Linear absoluto	0,1165	0,2343
Relativo	1:26.088	1:12.971

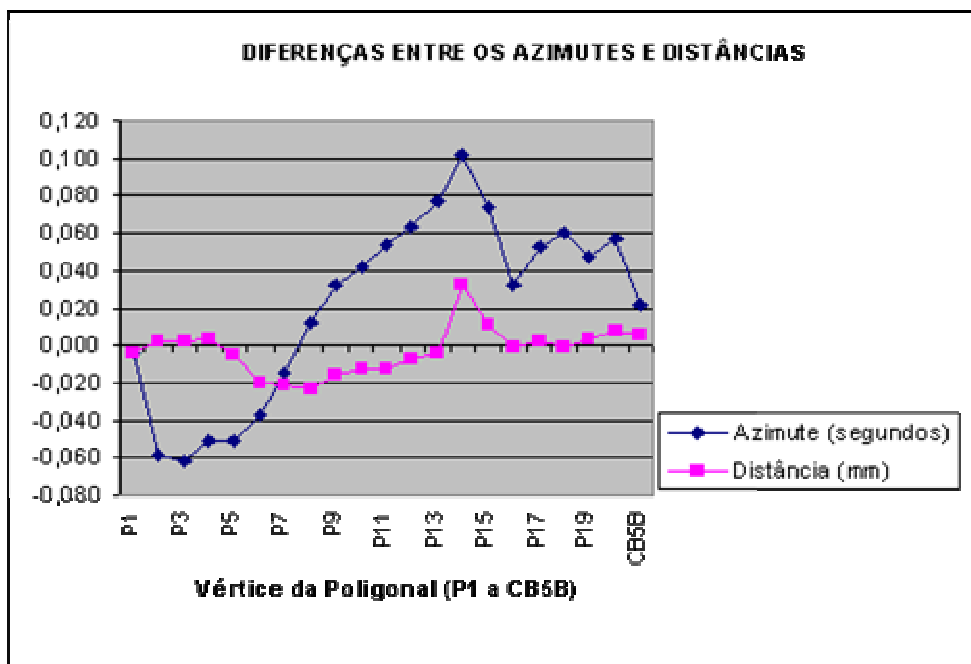


Figura 05 – Diferenças entre os azimutes e distâncias da poligonal Curitibaanos calculada pela metodologia padrão e o método simplificado na projeção UTM

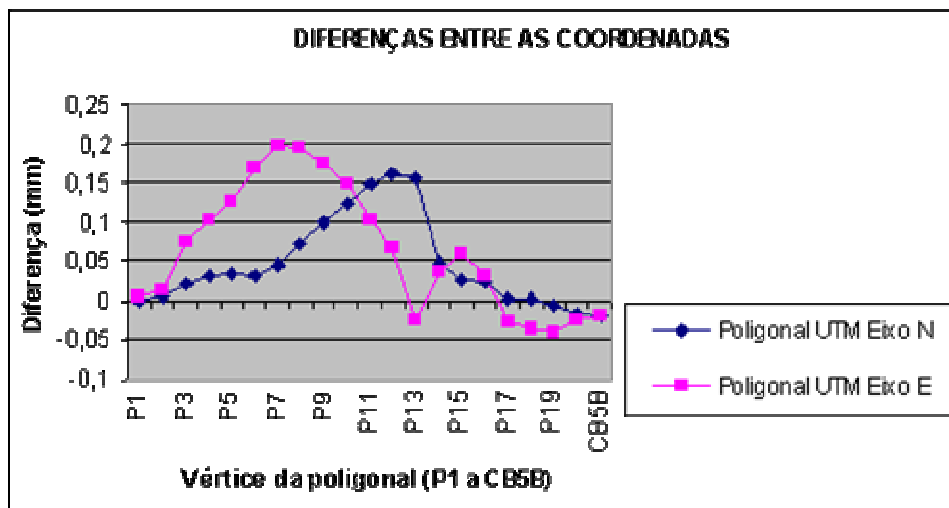


Figura 06 – Diferenças entre as coordenadas da poligonal Curitibaanos calculada pela metodologia padrão e o método simplificado na projeção UTM

Analisando o primeiro gráfico podemos perceber que as diferenças entre os azimutes e as distâncias entre as metodologias estudadas são praticamente desprezíveis o que pode ser facilmente notado observando o segundo gráfico onde as diferenças entre as coordenadas dos vértices da poligonal apresentaram valores insignificantes comparando a metodologia padrão e a metodologia simplificada. O gráfico nos mostra portanto que na região de Curitiba (meridiano central), para fins de um cadastro técnico os dois métodos não apresentam diferenças significantes entre si, podendo ser utilizados tanto um quanto o outro sem prejuízo à precisão dos trabalhos, o que pode ser verificado observando os valores dos erros de fechamento angular e linear da poligonal Curitiba em ambos os métodos, os quais tiveram valores consideravelmente aproximados atendendo às tolerâncias das NBR 13.133.

5.2 ANÁLISE DE POLIGONAL NO MUNICÍPIO DE SANTA TEREZINHA DE ITAIPU

No município de Santa Terezinha de Itaipu a poligonal levantada em campo partiu dos vértices de referência STI04 e STI01 e chegou nos vértices STI02 e STI05. A poligonal denominada STI constou de 15 vértices e apresentou desenvolvimento curvo enquadrada na classe I PRC tipo 2.

Tabela 07 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal STI utilizando o método padrão

Estação	Azimute (gms)	Distância (m)	UTM N	UTM E
STI04	-	-	7182481,775	759393,155
STI01	-	-	7182488,912	759581,067
P1	78,26074	210,6196	7182531,136	759787,411
P2	66,31154	175,4676	7182601,044	759948,351
P3	66,23039	158,7207	7182664,627	760093,779
P4	66,26364	216,3243	7182751,082	760292,076
P5	66,25426	285,4172	7182865,219	760553,679
P6	66,38251	262,9377	7182969,474	760795,064
P7	66,22182	217,0211	7183056,457	760993,892
P8	66,14587	169,6626	7183124,789	761149,185
P9	63,10031	216,3709	7183222,455	761342,260
P10	181,53073	172,0110	7183050,537	761336,600
P11	184,17498	94,5496	7182956,253	761329,516
P12	186,33463	227,4072	7182730,336	761303,525
P13	67,45387	136,1602	7182781,869	761429,556
STI02	180,34151	31,3350	7182750,536	761429,244
STI05	-	-	7182584,944	761421,934

Tabela 08 – Análise de fechamento da Poligonal STI no Sistema UTM utilizando o método padrão

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,9 seg.	31,4 seg
Linear	0,0987 0,0625	-
Linear absoluto	0,1168	0,1723
Relativo	1:22.040	1:14.939

Tabela 09 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal STI utilizando o método simplificado

Estação	Azimute	Distância	UTM N	UTM E
STI04	-	-	7182481,775	759393,155
STI01	-	-	7182488,912	759581,067
P1	78,26071	210,6196	7182531,136	759787,411
P2	66,31152	175,4676	7182601,045	759948,351
P3	66,23038	158,7208	7182664,628	760093,779
P4	66,26364	216,3243	7182751,083	760292,076
P5	66,25427	285,4173	7182865,219	760553,679

P6	66,38253	262,9378	7182969,474	760795,065
P7	66,22185	217,0212	7183056,457	760993,892
P8	66,14591	169,6627	7183124,788	761149,186
P9	63,10036	216,3710	7183222,454	761342,261
P10	181,53081	172,0108	7183050,536	761336,601
P11	184,17503	94,5494	7182956,253	761329,516
P12	186,33466	227,4069	7182730,336	761303,525
P13	67,45386	136,1602	7182781,869	761429,556
STI02	180,34153	31,3350	7182750,536	761429,244
STI05	-	-	7182584,944	761421,934

Tabela 10 – Análise de fechamento da Poligonal STI no Sistema UTM utilizando o método simplificado

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	11,1 seg.	31,4 seg
Linear	0,0954 0,0628	-
Linear absoluto	0,1143	0,1723
Relativo	1:22.526	1:14.933

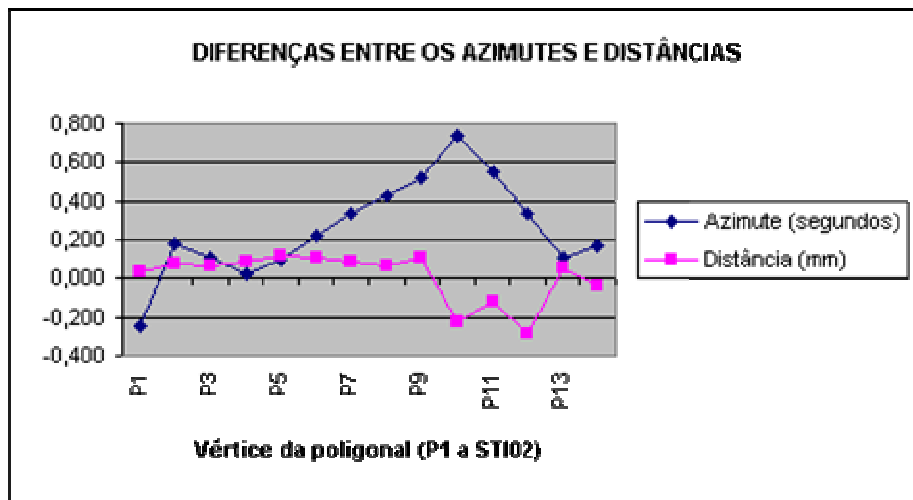


Figura 07 – Diferenças entre os azimutes e distâncias da poligonal STI calculada pela metodologia padrão e o método simplificado na projeção UTM.

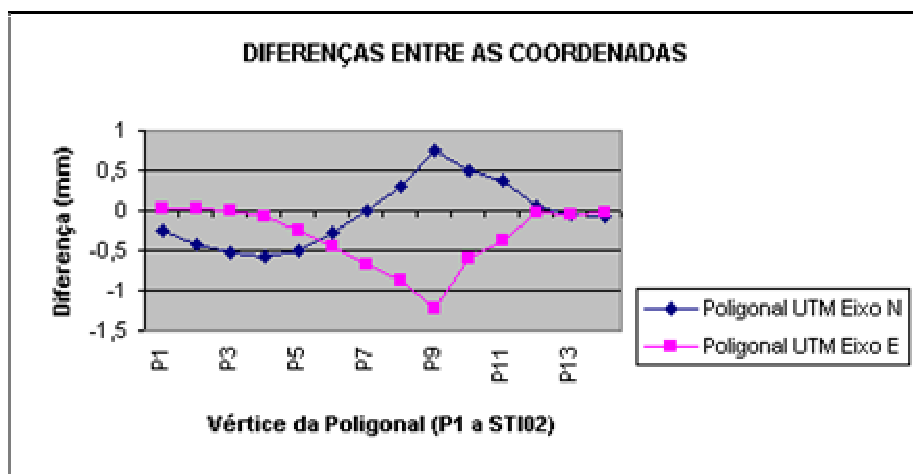


Figura 08 – Diferenças entre as coordenadas da poligonal STI calculada pela metodologia padrão e o método simplificado na projeção UTM.

Observando o primeiro gráfico podemos perceber que as diferenças entre os azimutes e as distâncias

entre as duas metodologias na poligonal STI são de magnitude mais elevada do que na poligonal Curitibaanos, acarretando conseqüentemente a valores de maior dimensão para as diferenças entre as coordenadas dos vértices da poligonal, apresentando valores de até um milímetro como pode ser verificado no segundo gráfico. No entanto, apesar destes valores terem sido maiores, estes não acarretaram à redução na precisão do levantamento, o que pode ser notado observando os valores dos erros de fechamento angular e linear da poligonal STI em ambas as metodologias, os quais tiveram valores consideravelmente aproximados atendendo às tolerâncias das NBR 13.133. Avaliando pois as tabelas de fechamento de poligonal e os gráficos apresentados, verifica-se que assim como na região de Curitibaanos, em Santa Terezinha de Itaipu não existe diferença considerável entre as metodologias padrão e simplificada podendo ser utilizadas qualquer uma das duas sem que seja afetada a precisão dos trabalhos.

5.3 ANÁLISE DE POLIGONAL NO MUNICÍPIO DE PARACATU

No município de Paracatu a poligonal levantada em campo partiu dos vértices de referência P12A e P12B e chegou nos vértices P11A e P11B. A poligonal denominada Paracatu constou de 17 vértices e apresentou desenvolvimento curvo enquadrada na classe I PRC tipo 2.

Tabela 11 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal Paracatu utilizando o método padrão

Estação	Azimute	Distância	UTM N	UTM E
P12B	-	-	8.095.431,153	300.070,505
P12A	-	-	8.095.416,201	300.008,128
P1	280,22259	81,3435	8.095.430,849	299.928,114
P2	275,39130	79,1424	8.095.438,645	299.849,357
P3	302,55403	168,9427	8.095.530,479	299.707,554
P4	293,55575	114,9924	8.095.577,128	299.602,448
P5	295,49240	90,4484	8.095.616,527	299.521,032
P6	332,49170	40,4675	8.095.652,526	299.502,548
P7	308,49174	93,2990	8.095.711,015	299.429,858
P8	317,57143	107,7911	8.095.791,061	299.357,667
P9	321,57025	142,6705	8.095.903,412	299.269,734
P10	321,48593	272,3674	8.096.117,502	299.101,361
P11	92,47388	99,0135	8.096.112,675	299.200,257
P12	78,30058	86,1588	8.096.129,850	299.284,687
P13	79,55023	135,0139	8.096.153,487	299.417,615
P14	79,24243	143,6068	8.096.179,887	299.558,775
P15	79,23497	130,3216	8.096.203,866	299.686,871
P11A	91,53185	159,7115	8.096.198,603	299.846,496
P11B	-	-	8.096.280,223	299.878,821

Tabela 12 – Análise de fechamento da Poligonal Paracatu no Sistema UTM utilizando o método padrão

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	11,2 seg.	33,4 seg.
Linear	0,0028 0,0518	-
Linear absoluto	0,0519	0,1576
Relativo	1:37.458	1:12.341

Tabela 13 – Coordenadas Ajustadas da Poligonal Paracatu utilizando o método simplificado

Estação	Azimute	Distância	UTM N	UTM E
P12B	-	-	8.095.431,153	300.070,505
P12A	-	-	8.095.416,201	300.008,128
P1	280,22259	81,3435	8.095.430,849	299.928,114
P2	275,39130	79,1424	8.095.438,645	299.849,357
P3	302,55404	168,9426	8.095.530,480	299.707,554

P4	293,55575	114,9924	8.095.577,128	299.602,448
P5	295,49241	90,4484	8.095.616,527	299.521,032
P6	332,49171	40,4675	8.095.652,526	299.502,548
P7	308,49175	93,2990	8.095.711,015	299.429,858
P8	317,57143	107,7911	8.095.791,061	299.357,668
P9	321,57024	142,6705	8.095.903,412	299.269,734
P10	321,48592	272,3674	8.096.117,502	299.101,361
P11	92,47387	99,0135	8.096.112,675	299.200,257
P12	78,30057	86,1588	8.096.129,850	299.284,687
P13	79,55023	135,0139	8.096.153,487	299.417,615
P14	79,24243	143,6068	8.096.179,887	299.558,775
P15	79,23497	130,3216	8.096.203,866	299.686,871
P11A	91,53186	159,7115	8.096.198,603	299.846,496
P11B	-	-	8.096.280,223	299.878,821

Tabela 14 – Análise de fechamento da Poligonal Paracatu no Sistema UTM utilizando o método simplificado

ERROS		TOLERÂNCIA
Angular	10,4 seg.	33,4 seg.
Linear	0,0032 0,0518	-
Linear absoluto	0,0519	0,1576
Relativo	1:37.448	1:12.343

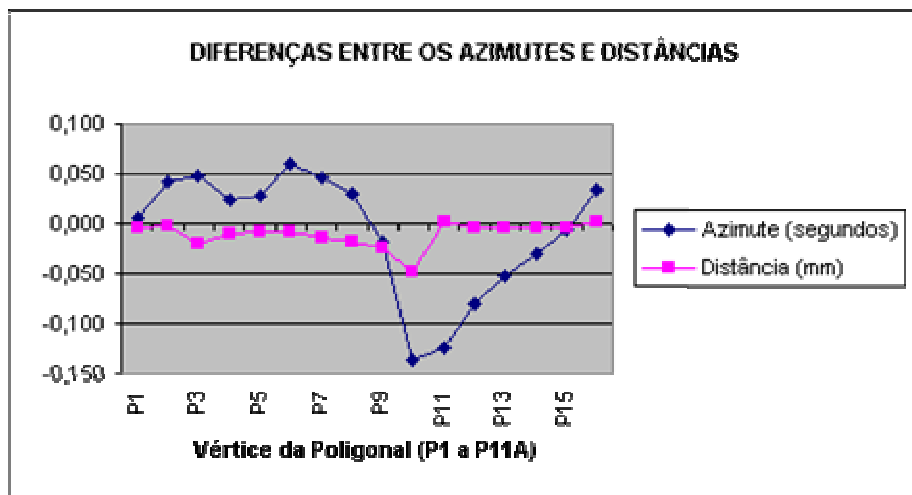


Figura 09 – Diferenças entre os azimutes e distâncias da poligonal Paracatu calculada pela metodologia padrão e o método simplificado na projeção UTM

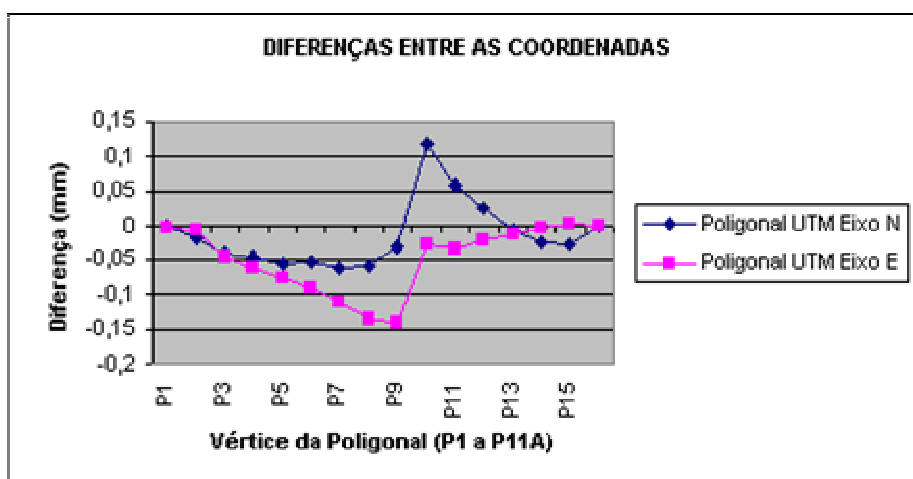


Figura 10 – Diferenças entre as coordenadas da poligonal Paracatu calculada pela metodologia padrão e o método simplificado na projeção UTM.

Observando as tabelas de fechamento de poligonal e os gráficos, verificamos que na poligonal Paracatu assim como nas outras duas últimas, as duas metodologias estudadas se apresentaram praticamente idênticas, gerando resultados de valores consideravelmente iguais. Ocasionalmente assim, que na região de Paracatu (meridiano de secância) a diferença entre as metodologias padrão e simplificada pode ser negligenciada sem que haja prejuízo na precisão dos trabalhos.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo permitiu analisar a aplicação de uma metodologia mais simplificada para o transporte de coordenadas no sistema UTM para fins de um Cadastro Técnico Urbano. O trabalho possibilitou também comparar os resultados alcançados pela metodologia proposta e a metodologia padrão conceituada fundamentalmente. A análise também se norteou segundo as prescrições da NBR 13.133 que normaliza a execução de levantamentos topográficos.

Assim, pelos trabalhos executados nos três municípios estudados e analisando os resultados apresentados pelos erros de fechamento das poligonais e pela comparação entre ambos os métodos avaliados, pode-se afirmar que a utilização da metodologia simplificada satisfaz as precisões de mapeamento de uma Rede de Levantamento de um Cadastro Técnico Urbano em qualquer região do fuso que este seja executado. Portanto, pode-se concluir que a negligência da correção referente à redução angular não afeta significativamente a precisão dos trabalhos de um levantamento cadastral. Isto é verificado basicamente devido ao fato de que as poligonais implantadas na obtenção de uma Rede de Levantamento num Cadastro Técnico Urbano utilizam distâncias curtas, com valores máximos de 500 metros.

Vale ressaltar que os mesmos resultados encontrados para a projeção UTM foram verificados para as suas variantes RTM e LTM, neste contexto a metodologia proposta é aceitável para quaisquer das projeções TM (UTM, RTM e LTM).

É válido também destacar que os resultados alcançados por este trabalho vêm de encontro aos anseios dos profissionais e empresas do ramo de mapeamento, visto que a utilização da metodologia proposta simplifica em muito os cálculos realizados num transporte de coordenadas no sistema TM, facilitando a automação destes cálculos via programas simples como as planilhas eletrônicas, visto que ainda não existe no mercado um software de automação que execute este procedimento de forma correta, levando em consideração as diferentes superfícies de referência e projeção dos dados.

É de fundamental importância citar, que os resultados apresentados neste estudo se referem à Rede de Levantamento, sugerindo-se assim que novos trabalhos sejam realizados com a finalidade de analisar a metodologia proposta nas demais Redes de densificação presentes num CTU, como a Rede de Referência Cadastral Municipal e a Rede Estadual de Referência.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR13.133 - Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14.166 – Rede de Referência Cadastral Municipal**. Rio de Janeiro, 1998.
- ASIN, FM. **Geodesia y Cartografía Matemática**. Madrid, 3ª Ed. , 1990.
- BLACHUT, T.J.; CHRZANOWSKI, A.; SAASTAMOINEM, JH. **Cartografía y levantamientos urbanos**. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. New York, Inc. Springer-Verlag, 1979.
- BRASIL. Ministério do Exército (1975). **Manual Técnico; coordenadas planas, sistema UTM**. Diretoria do Serviço Geográfico do Exército. Rio de Janeiro.
- DALAZOANA, R.; FREITAS, SRC de. **A Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS : Implicações na Cartografia**. In: 30 ANOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS NO BRASIL, 1, 2001, Curitiba, PR. Anais do I Colóquio em Ciências Geodésicas, Curitiba: UFPR, 2001.
- GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Geométrica (1ª parte)**. Curitiba: UFPR, 1987.
- GRIPP Jr., J.; SILVA, AS. **Geodésia Geométrica**. Notas de Aulas da disciplina Civ-425 – Geodésia Geométrica, Departamento de Engenharia Civil, UFV, 1994.
- LOCH, C. ; CORDINI, J. **Topografia Contemporânea: Planimetria**. Florianópolis, Ed. Da UFSC, 1995.
- OLIVEIRA, C de. **Curso de Cartografia Moderna**. Rio de Janeiro, IBGE, 2ª Edição, 1993.
- PHILIPS, J. **Os Dez Mandamentos para um Cadastro Moderno de Bens Imobiliários**. In: Anais – II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC. Florianópolis, 13 a 17 Out 1996.
- ROBINSON, AH.; SALE, R. **Elements of cartography**. John Wiley & Sons, New York. 1995.
- ROCHA, R. dos S. **Algumas considerações sobre as projeções cartográficas utilizadas no Brasil para mapeamentos em grandes escalas**. In: CD do III Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, Florianópolis, 18 a 22 Out 1998.

ROMÃO, VMC.; CARNEIRO, AFT.; SILVA, TF. **Rede de Referência Cadastral Municipal: Uma proposta do Grupo de Trabalho sobre Cadastro Municipal (GTCM) do DECart – UFPE.** In: CD do II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, Florianópolis, 13 a 17 Out 1996.

SHERRER, R. **Redução de Distâncias nos Distanciômetros a Infravermelho.** Revista Brasileira de Cartografia, N.38, Junho de 1985.