

Avaliação da Qualidade das Coordenadas geográficas de Mapas digitais

Msc. Adriana Goulart dos Santos ⁽¹⁾
Prof. Dr. Paulo César Lima Segantine ⁽²⁾

(1) Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos - STT
13560-590 - São Carlos, SP, Brasil
(1) agoulart@sc.usp.br

(2) Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos - STT
13560-590 - São Carlos, SP, Brasil
(2) seganta@sc.usp.br

RESUMO: Com o propósito de analisar a qualidade de dados georreferenciados foi determinada a discrepância entre as coordenadas tomadas como referência (GPS) e as coordenadas obtidas de um meio digital. Para isso foi desenvolvido um Estudo de Caso no município de São Carlos-SP, de onde foram coletadas, em campo, as coordenadas através do GPS. Na sequência foi feita a obtenção dos pontos correlatos no meio digital, os quais foram extraídos da carta digital São Carlos I de escala 1:10000. Comparando-se os resultados obtidos constatou-se que existem diferenças significativas entre essas coordenadas. Situações como estas evidenciam a necessidade de pesquisas na qual sejam propostos métodos de correção destas coordenadas a fim de promover a qualidade das informações cartográficas melhorando a exatidão das mesmas. O presente artigo tem como objetivo fazer uma análise da qualidade destes dados georreferenciados e sugerir métodos para a sua correção com o intuito de obter resultados mais confiáveis.

PALAVRAS CHAVES: mapa digital, GPS, coordenadas geográficas, análise da qualidade.

ABSTRACT: With the intention to analyze the quality of georeferenced data it was determined the discrepancy among coordinates taken as reference (GPS) and the gotten coordinates of a digital map. For this a Study of Case was developed in the municipal district of São Carlos-SP, from where were collected, in field, the coordinates applying GPS. In the sequence it was made the obtaining coordinates of the homologous points, which were extracted of the digital map São Carlos I of scale 1:10000. Comparing the obtained results was verified that differences significant among those coordinates exist. This problem evidences the need of researches in the which correction methods are proposed of these coordinates in order to promote the quality of the cartographic information improving the accuracy of the same ones. The present paper has an objective to make an analysis of the quality of these georeferenced data and to suggest methods for its correction in order to reach more trustworthy results.

KEYWORDS: digital map, GPS, geographical coordinates, analysis of quality.

1. INTRODUÇÃO

O planejamento e a realização de serviços que envolvem questões referentes à localização geográfica dependem de uma base cartográfica. A função da base cartográfica é dar suporte para as tarefas que se desenvolvem utilizando dados espaciais. Assim, o conhecimento da qualidade desta base é de fundamental importância para o planejamento da ocupação do espaço. Os recursos tecnológicos disponíveis à Cartografia têm viabilizado avanços consideravelmente importantes, através, principalmente, dos softwares que permitem velocidade na obtenção de dados, na troca de informações espaciais e em sofisticadas análises dos fenômenos espaciais.

Segundo, Burity et al. (2002), normalmente, a qualidade no contexto do mapeamento induz à consideração mais enfática da qualidade posicional. Esta tem sido a principal preocupação relativa à qualidade no processo de mapeamento, mesmo porque é dela que se faz a classificação final do produto. A qualidade posicional é inerente aos processos e métodos utilizados na produção de documentos cartográficos que devem se adequar às necessidades e finalidades a que se destinam.

O processo de mapeamento é composto por fases como: projeto de mapeamento; levantamento de campo; aerofotogrametria; programas computacionais para cálculos de ajustamento, aerotriangulação, conversão de coordenadas ao sistema de projeção cartográfica; restituição; edição; reambulação; verificação; impressão, dentre outras. Em todas as fases se requer considerável cuidado para a preservação da autenticidade e exatidão das informações produzidas ou reproduzidas e que irão compor o produto final ao qual se estabelecerá um determinado nível de qualidade. Entretanto, o resultado desejado quanto à qualidade nem sempre é alcançado.

Ramirez & Ali (2003) apud Lazzarotto (2005), relatam que a qualidade de dados espaciais é uma questão muito importante e complexa. Tradicionalmente, tanto produtores como usuários de dados espaciais reconhecem sua importância, mas, dedicam poucos esforços para entender a qualidade dos dados espaciais e para a avaliação dos documentos cartográficos em meio analógico. A ausência de dados precisos implica no fornecimento de informações não confiáveis, que conseqüentemente irão gerar erros comprometedores à qualidade dos estudos, promovendo desperdícios de verbas destinadas às soluções de problemas ou até mesmo no comprometimento da integridade física de vidas humanas.

Sob este enfoque, surge uma questão muito importante, que se refere à qualidade dos dados georreferenciados, que é crucial para a qualidade de produto final dos SIGs. Com o propósito de analisar a qualidade destes dados, Chaves (1998) determinou as discrepâncias entre coordenadas tomadas como referência (GPS) e as coordenadas obtidas de um meio digital. Para isso, foi desenvolvido um estudo de caso que teve como proposta, a partir da definição da área abrangida, na qual foi escolhida a carta de São Carlos I de escala 1:10000, onde foi feita a determinação dos pontos de controle por levantamento de campo através do GPS. A obtenção dos pontos correlatos na carta foi realizada a partir do processo de digitalização. Comparando-se os valores obtidos Chaves (1998) verificou a existência de diferenças entre as coordenadas.

Este problema evidencia a necessidade de pesquisas na qual sejam propostos métodos de correção de coordenadas a fim de promover à qualidade das informações cartográficas melhorando a exatidão dos dados de mapas digitais.

A aplicação de modelos matemáticos de georreferenciamento é a ferramenta de trabalho proposta a fim de corrigir as coordenadas geográficas de uma carta digital. O georreferenciamento de um mapa, de acordo com D'Alge (1997), utiliza basicamente funções polinomiais no espaço bidimensional para relacionar coordenadas do mapa digital (linha e coluna) às coordenadas planas do sistema de projeção cartográfica. Para isso, utilizam-se pontos de controle (cruzamento de estradas, rios, pistas de aeroportos, etc) obtidos com GPS e cartas topográficas. Alguns pontos de controle bem distribuídos, podem facilmente modelar a translação que representa um erro de posicionamento. Ressalta-se que o número mínimo de pontos irá variar conforme o polinômio adotado, ou seja, 3, 6, 12 para polinômios de 1°, 2° e 3° grau, respectivamente.

Obter os parâmetros de transformação é um procedimento necessário para representar a realidade física e a escolha do melhor modelo matemático é fundamental para que as diferenças entre as coordenadas da imagem e as obtidas por levantamento sejam mínimas.

Sugere-se que o ponto de partida para o estudo dessa modelagem matemática seja a transformação de coordenadas através da Transformação Geométrica AFIM. Este tipo de transformação geométrica fornece a possibilidade de mover, girar e alterar o tamanho (escala) de uma imagem, bem como as coordenadas de pontos da mesma.

2. ANÁLISE DA QUALIDADE DOS DADOS DIGITALIZADOS

Na cartografia a qualidade posicional é, sem dúvida, um dos mais importantes parâmetros de qualidade de um produto cartográfico. Quando se trata deste assunto, termos como precisão e acurácia (ou exatidão) são, geralmente, encontrados na bibliografia específica.

O Federal Geographic Data Committee através do Geospatial Standards, define acurácia como sendo a proximidade de um valor estimado (medido ou calculado) comparado ao seu valor “verdadeiro”, ou aceito como verdadeiro, de uma grandeza particular e o termo precisão tem a ver com a proximidade entre as observações, ou seja, o quanto a mesma está da sua média. Para Gernael (1994) o termo precisão está vinculado apenas a efeitos aleatórios (à dispersão das observações), enquanto que a acurácia vincula-se a ambos, efeitos aleatórios e sistemáticos.

Os testes específicos para a análise da acurácia de um mapa são realizados em função de duas componentes, segundo Merchant (1982): análise de tendência e análise de precisão. Estes testes são baseados em um nível de significância de 90%. A análise de tendência baseia-se na distribuição t Student, enquanto a análise de precisão na distribuição qui-quadrado.

Galo e Camargo (1994) propõem um método para analisar a acurácia de uma carta baseado na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas na carta com as de referência (obtidas a partir dos levantamentos de campo). Nas equações apresentadas a seguir, ao denominar-se X para um ponto, entende-se que esta nomenclatura é válida tanto para as coordenadas E, quanto para as N. Também, aqui, nota-se que, as coordenadas com índice r são referentes às coordenadas obtidas através do levantamento GPS e as que não possuem índice são as relativas ao processo de digitalização. Então:

$$\Delta X_i = X_i^r - X_i \quad (1)$$

A discrepância média e seu desvio-padrão são, respectivamente, determinados a partir das seguintes expressões:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad (2)$$

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad (3)$$

Para a realização do teste de tendência, assumem-se as seguintes hipóteses:

$$H_0 : \overline{\Delta X} = 0 \quad (4)$$

$$H_1 : \overline{\Delta X} \neq 0 \quad (5)$$

A seguir, calcula-se a estatística amostral t , e verifica-se se o valor de t amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O valor de t amostral é obtido a partir de:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} n^{1/2} \quad (6)$$

E o intervalo de confiança relativo ao teste t de Student é dado por:

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (7)$$

Se a estatística t amostral não satisfaz a desigualdade (x), rejeita-se a hipótese nula, ou seja, a carta possui tendências significativas na coordenada testada, para um determinado nível de confiança. A detecção de tendência em alguma direção informa a ocorrência de problemas.

A análise de precisão é realizada através dos seguintes procedimentos:

Primeiramente obtém-se o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) e do EP (Erro Padrão) tabelados conforme a TABELA 1.

TABELA 1 – VALORES DO PEC E EP ADOTADOS NO BRASIL (DECRETO-LEI Nº 89.817/84)

ESCALA	PRECISÃO PLANIMÉTRICA					
	CLASSE A		CLASSE B		CLASSE C	
	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
1:10000	5 m	3 m	8 m	5 m	10 m	6 m
1:5000	2,5 m	1,5 m	4 m	2,5 m	5 m	3 m
1:2000	1m	0,6 m	1,6 m	1 m	2 m	1,2 m
1:1000	0,5 m	0,3 m	0,8 m	0,5 m	1 m	0,6 m

Efetua-se a comparação entre os desvio-padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) de uma classe pré-selecionada. O teste de hipótese para esta análise é o seguinte:

$$H_o : S_X^2 = \sigma_x^2 \quad (8)$$

$$H_1 : S_X^2 > \sigma_x^2 \quad (9)$$

Onde σ_x corresponde ao desvio-padrão ou erro padrão esperado para a coordenada x e é calculado pela expressão:

$$\sigma_x = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

Em seguida, aplica-se o teste qui-quadrado amostral:

$$X_x^2 = (n - 1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_x^2} \quad (11)$$

A hipótese nula é aceita se este valor satisfaz a seguinte desigualdade:

$$x_x^2 \leq X_{(n-1, \alpha)}^2 \quad (12)$$

Caso contrário rejeita-se a hipótese nula de que a carta atende a precisão estabelecida.

3. ANÁLISE DA QUALIDADE DE DADOS GEORREFERENCIADOS UTILIZANDO A TECNOLOGIA GPS – UM ESTUDO DE CASO

Chaves (1998) efetuou um estudo de caso onde foi realizada uma análise da qualidade dos dados georreferenciados através da determinação da discrepância entre as coordenadas de referência (GPS) e as coordenadas a serem avaliadas (obtidas por digitalização manual).

As atividades realizadas nessa pesquisa foram divididas em quatro partes fundamentais:

- 1) Definição da área de estudo: obtenção da base cartográfica, seleção e conhecimento dos pontos de controle;
- 2) Obtenção das coordenadas de referência (GPS): levantamento de campo; equipamentos, softwares e métodos de posicionamento com GPS; planejamento e programação das observações; materialização dos pontos; observações GPS; processamento dos dados GPS; transformações de coordenadas; resultados obtidos;
- 3) Obtenção das coordenadas a serem avaliadas através do processo de digitalização manual;
- 4) Análise da qualidade dos dados: cálculo das discrepâncias entre as coordenadas obtidas.

3.1 SELEÇÃO E PONTOS DE CONTROLE NA BASE CARTOGRÁFICA

A carta escolhida para a execução desse estudo de caso foi a folha SÃO CARLOS I (SF-23-Y-A-I-1-NO-B) do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, na escala 1:10 000, projeção UTM.

A carta SÃO CARLOS I abrange uma área que contém 24 quadrículas situadas no Fuso 23 (meridiano central: 45° W Greenwich) entre as coordenadas UTM definidas: (E=197.000; N=7.560.000), (E=197.000; N=7.564.000), (E=203.000; N=7.564.000) e (E=203.000; N=7.560.000). Em cada uma das quadrículas escolheu-se um ponto que estivesse próximo ao seu centro.

3.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Antecedente ao levantamento de campo, investigou-se se a utilização do sistema GPS atenderia, realmente, as exigências de precisão para este tipo de avaliação. Esta investigação baseou-se na seguinte premissa: os pontos deveriam ser determinados por procedimentos nos quais os erros obtidos não excedessem a 1/3 do Erro Padrão (EP), para a classe que se deseja que a carta tenha. Assim, estimou-se a tolerância mínima para os pontos, tomando-se como parâmetros uma carta de classe A na escala 1/10000.

Vale salientar que, no caso em estudo, consideraram-se somente as tolerâncias de precisão planimétricas. Como a tolerância é de 1/3 do Erro Padrão, e este erro é da ordem de 0,3mm do módulo da escala da carta, resulta numa tolerância de 1 metro para a escala utilizada. O GPS, quando empregado para fins de levantamentos geodésicos, oferece precisão centimétrica e subcentimétrica, o que condiz perfeitamente com a tolerância exigida em relação ao EP.

3.3 EQUIPAMENTOS, SOFTWARE E MÉTODOS DE POSICIONAMENTO COM O SISTEMA GPS

Foram usados os seguintes equipamentos do Laboratório de Mensuração do Departamento de Transportes da EESC-USP:

- GPS 01- Sensor GPS SR 9400 com Receptor de 12 canais, mono-frequência L_1 para medições da fase e do código C/A e Antena AT201, Controladora CR333, da marca Leica;
- GPS 02- Sensor GPS SR 9400 com Receptor de 12 canais, mono-frequência L_1 para medições da fase e do código C/A e Antena AT201, Controladora CR333, da marca Leica;
- GPS 01- Sensor GPS SR 261 com Receptor de 8 canais, mono-frequência L_1 para medições da fase e do código C/A e Antena AT201, Controladora CR333, da marca Leica;

O software destinado a programação da missão do levantamento de campo e ao pós-processamento dos dados obtidos no levantamento GPS foi o SKY versão 2.0, desenvolvido pela Leica. Este software consiste numa rotina de cálculo executável em ambiente Windows da Microsoft. Pode-se usar para o planejamento de missão, processamento de dados, ajustamento de rede e transformação entre data. Além disso, dados de outros receptores podem ser importados e processados usando-se o formato RINEX.

3.4 AS OBSERVAÇÕES GPS

Nas observações GPS, o modo estático de curta duração requer, no mínimo, dois sensores GPS simultaneamente em operação (um no ponto de referência e outro no ponto que se deseja determinar as coordenadas). No caso em questão, a estação de referência foi o ponto STT1/EESC/USP, situado sobre o prédio do Laboratório de Mensuração do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos. Obteve-se este ponto a partir da rede geodésica GPS do Estado de São Paulo (ver SEGANTINE, 1995). As coordenadas deste ponto são $\phi = 22^\circ 00' 17,784''$, $\lambda = 47^\circ 53' 57,02''$ e $h = 822,052\text{m}$ e os pontos são os 23 escolhidos previamente.

3.5 TRANSFERÊNCIAS E PROCESSAMENTO DOS DADOS GPS

Realizou-se a transferência e processamento dos dados GPS com a utilização do software SKY, optando-se, primeiramente, pela seleção automática e manual para definir os pontos de referência e os pontos a serem avaliados.

Nos resultados, todas as bases calculadas apresentam-se juntamente com os desvios-padrão das coordenadas em metros, com a resolução da ambigüidade e o tipo de levantamento, além de informações adicionais.

3.6 TRANSFORMAÇÕES DE COORDENADAS E DATUM

As coordenadas dos pontos (X,Y,Z) no sistema WGS-84, adquiridas a partir do processamento de dados no software SKY, foram submetidas a transformações de coordenadas e datum, conforme representado abaixo:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{WGS84} \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{SAD69} \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{C.ALEGRE} \Rightarrow \begin{bmatrix} \phi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_{WGS84} \Rightarrow \begin{bmatrix} E \\ N \end{bmatrix}_{C.ALEGRE}$$

Para tanto, utilizou-se o programa TRANSCOOR, elaborado por Chaves (1997), que possibilita a execução destas transformações, partindo-se de um datum e, em seguida, optando-se pela transformação desejada.

Efetuada as transformações, têm-se como resultado as coordenadas (E, N) no datum Córrego Alegre, sendo, então, estas coordenadas assumidas como conhecidas (de referência), e designadas de E^C e N^C .

3.7 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS A SEREM AVALIADAS ATRAVÉS DO PROCESSO DE DIGITALIZAÇÃO

De posse das coordenadas GPS (E^C , N^C), dos pontos, a próxima fase consistiu na obtenção das coordenadas a serem avaliadas (E^A e N^A) através da mesa digitalizadora ou da digitalização manual. Apesar de a pesquisa ser direcionada a avaliação qualitativa e quantitativa dos dados digitais, criaram-se proposadamente situações que retratassem, com fidelidade, os procedimentos usados cotidianamente neste processo de conversão dos dados, não havendo, portanto, preocupação com a ocorrência de condições e resultados ideais, não condizentes com a realidade, e esta conduta seguiu-se durante todo o processo digitalização.

3.7.1 DIGITALIZAÇÃO NO ESTUDO DE CASO

O processo empregue na digitalização dos dados do estudo de caso compõe-se de quatro etapas básicas:

1. Digitalização de pontos na mesa para papel de formato A4, visando avaliar a componente elementar do processo, ou seja, avaliando a qualidade pontual dos dados digitalizados;
2. Digitalização dos pontos na mesa para papel de formato A0, propondo uma comparação com os dados obtidos na mesa A4;
3. Digitalização e Edição de quatro quadrículas na mesa A4, com o objetivo de analisar a qualidade das feições e os tipos de erros oriundos da edição;
4. Digitalização, Edição e Importação de arquivos gerados para os arquivos obtidos pelo item 3.

3.7.2 DIGITALIZAÇÃO NA MESA A4

A digitalização dos pontos na mesa A4, quando se tem como base cartográfica um documento de dimensões A0, como é a carta 1:10000, é um processo trabalhoso e exaustivo. Neste formato é permitida a digitalização de, no máximo, quatro quadrículas por vez, o que implicou sucessivas mudanças da carta e calibragens da mesa.

Outra variável observada foi a experiência do operador, sendo feitas leituras dos pontos com o operador A (familiarizado com o processo) e o operador B (sem experiência alguma). O número efetuado de leituras de cada ponto foi cinco, visando à eliminação dos possíveis erros grosseiros.

Depois de digitalizados, os dados foram transformados para o formato DXF e obtiveram-se assim as coordenadas dos pontos que receberam a denominação de E^A e N^A , representando as coordenadas a serem avaliadas.

3.7.3 DIGITALIZAÇÃO NA MESA A0

Ao contrário da mesa A4, notou-se aqui uma situação de extremo conforto para o operador sem as mudanças da carta e a necessidade de várias calibragens. Com uma única calibragem, efetuaram-se as cinco leituras pelos dois operadores, A e B.

3.7.4 DIGITALIZAÇÃO E EDIÇÃO DE QUATRO QUADRÍCULAS NA MESA A4

Neste procedimento verificou-se a influência exercida pelo processo de digitalização e edição de feições, e também a relação entre a área digitalizada e o número de pontos de controle. Vale ressaltar que se utilizou somente um operador e que, depois dos processos de digitalização e edição, os pontos foram lidos diretamente na tela uma só vez, pois após serem submetidos a estes processos, a cada ponto associa-se uma única coordenada, testando-se depois a qualidade dos dados.

3.8 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS DADOS

As análises das discrepâncias entre as coordenadas foram conduzidas de acordo com os procedimentos apresentados no item 2. Desse modo, foram dois os testes aplicados nesta análise: a análise de tendência e análise de precisão. Para tanto, comparou-se as coordenadas obtidas no primeiro e no segundo processo (GPS e Digitalização, respectivamente) e usando os EP e PEC para a carta 1:10000, como na TABELA 2.

TABELA 2 - PEC PARA A CARTA 1:10 000

CLASSE	PEC (m)	EP (m)	σ_E (m)	σ_N (m)
A	5	3	2,121	2,121
B	8	5	3,535	3,535
C	10	6	4,243	4,243

A TABELA 3 ilustra o resumo dos resultados obtidos nas análises, ressaltando que os pontos de incidência de maiores discrepâncias são justamente os pontos que de alguma maneira (na carta ou no terreno) não estavam precisamente definidos, e lembrando que a ausência de tendência em alguma direção indica que não existem discrepâncias entre as coordenadas GPS e as coordenadas digitalizadas, aceitando-se a hipótese nula com 90% de confiabilidade.

Ainda, Galo e Camargo (1994) argumentaram que muitas podem ser as causas da ocorrência de tendências e recomendam que esta tendência pode ser eliminada subtraindo-se o valor da discrepância média nesta direção. Mailing (1989) explica que este erro sistemático (tendência) é determinado pela discrepância média dos pontos da amostra $\Delta E/n$ e $\Delta N/n$, podendo determinar-se a exatidão do mapa a partir da subtração deste valor dos desvios padrão das coordenadas de cada ponto.

Fazendo a análise da precisão, deduziu-se que a experiência do operador é um parâmetro de difícil avaliação, mas que deve ser considerado, e conclui-se que a digitalização pontual obteve dados melhores quanto à precisão, donde se conclui que, neste caso, a edição dos dados interferiu nos resultados. Ainda, constatou-se que não existem diferenças significativas entre os dados digitalizados e importados, o que implica na não interferência do processo de importação de arquivos destes dados.

Finalmente, concluiu-se que os procedimentos empregues na análise da qualidade de dados georreferenciados retratam de maneira transparente o tipo de dados que se tem em mãos e indicam onde deve ser dispensada atenção especial para melhorar esta qualidade.

TABELA 3- RESUMO DOS RESULTADOS

Mesa A4	Operador A	Tendência E
	Operador B	Tendência E
Mesa A0	Operador A	Tendência E,N
	Operador B	Tendência E,N
Dados Digitalizados		Tendência N
Dados Digitalizados e Editados		Tendência N
Dados Digitalizados, Editados e Importados		Tendência N

	A	
	Operador B	Classe C
Dados Digitalizados		Classe B
Dados Digitalizados e Editados		Classe C
Dados Digitalizados, Editados e Importados		Classe C

4. PROPOSTA PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Este problema evidencia a necessidade de pesquisas na qual sejam propostos métodos de correção de coordenadas a fim de promover à qualidade das informações cartográficas melhorando a exatidão dos dados de mapas digitais.

A aplicação de modelos matemáticos de georreferenciamento será a ferramenta de trabalho empregue para corrigir as coordenadas geográficas de uma carta digital.

Um modelo matemático que se pretende utilizar será a transformação de coordenadas através da Transformação Geométrica AFIM. Este tipo de transformação geométrica fornece a possibilidade de mover, girar e alterar o tamanho (escala) de uma coordenada de um ponto de uma imagem.

A transformação AFIM no espaço 2D é uma transformação que mantém o paralelismo entre os sistemas, tendo seis parâmetros de transformação (a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , Δ_x e Δ_y). A rotação, os dois fatores de escala e o fator de não ortogonalidade entre os eixos estão incorporados em a_1 , a_2 , a_3 e a_4 . É definida analiticamente por:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \end{bmatrix} \quad (13)$$

onde:

a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , Δ_x e Δ_y são os parâmetros de transformação;

(x , y) e (X , Y) são as coordenadas do ponto nos dois sistemas de referência. A transformação inversa é dada por:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 a_2 \\ a_3 a_4 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} X - \Delta x \\ Y - \Delta y \end{bmatrix} \quad (14)$$

Cabe aqui ressaltar que outros modelos, além da transformação AFIM serão analisados com o aprofundamento da pesquisa com o objetivo de comparar o desempenho dos mesmos e, desse modo, indicar aquele que proporciona os menores resíduos (erros) aumentando, assim, a confiabilidade das informações cartográficas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É comprovado que a tecnologia GPS é um meio adequado à obtenção de coordenadas de pontos de controle utilizadas neste tipo de análise, atentando-se aqui para o fato de que os pontos a serem avaliados devem estar claramente definidos no terreno e na carta, caso contrário devem ser descartados. A precisão exigida dos métodos e equipamentos usados para este tipo de análise era de 1 m. Seguramente, resultados de maior precisão podem ser alcançados a partir de determinações GPS.

Nas análises de tendência, verificou-se uma constância, ou melhor, constataram-se tendências nas mesmas direções quando se considerou os operadores e os processos de digitalização, o que não ocorreu com os processos de edição e importação dos arquivos.

De todas as análises de precisão feitas, incluindo as variações com diferentes operadores, diferentes mesas digitalizadoras, número reduzido de pontos de controle e diferentes procedimentos no processo de digitalização, foram unânimes quanto à classificação dos dados avaliados, como pertencentes aos padrões de uma carta de classe C em ambas as direções E e N. Deve ser ressaltado que foram registradas situações em que os dados atendiam aos padrões das cartas de classe A e classe B em apenas uma das direções.

Propõe-se que a partir dos resultados oriundos do levantamento GPS e do processo de aquisição de dados no formato digital sejam determinados parâmetros, através da aplicação de modelagem matemática, a fim de promover a melhoria da qualidade dos dados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aronoff, S. *Geographic information System: a Management Perspective*. WDL. Ottawa, Canadá, 1989, 294 páginas.

Burity, E. F.; Sá, L.A.C.M.; Amaral, E.G. *Iniciativas para Normalização em Dados Espaciais*. In: Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. CD-ROM. Florianópolis, 2002.

Chaves, E.E.D. *Análise da Qualidade de Dados Georreferenciados Utilizando a Tecnologia GPS*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1988, 179 páginas.

D'Alge, J.C.L. *Atualização Cartográfica por Imagem de Satélite: considerações teóricas e possibilidades de implementação*. Texto Técnico – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997. [on line] <http://www.dpi.inpe.br/~julio/consult1.pdf>. Acesso: abril 2006.

Federal Geographic Data Committie. *An Imagem Map of the Content Standard for Digital Geospatial Metadata*, Version 2 –(FGDC-STD-001), 1998.

Galo, M.; Camargo, P.O. *Utilização do GPS no controle da qualidade de carta*. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1994, páginas 41-48.

Gemael, C. *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas*. Ed. UFPR, Curitiba, 1994, 319 páginas.

Lazzarotto, D.R. *Avaliação da Qualidade de Base Cartográfica por meio de Indicadores e Sistemas de Inferência Fuzzi*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005, 231 páginas.

Mailing, D.H. *Measurements from Maps Principles and Methods of Cartometry*. Oxford, Pergamon Press, 1989.

Merchant, D. C. *Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps* In: American Congress on Surveying and Mapping,. Denver, CO, 1982, páginas. 222-231.

Nogueira Júnior, J. B. *Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica*. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003,159 páginas.

Segantine, P.C.L. *Estabelecimento e Ajuste de uma rede geodésica no Estado de São Paulo, com o sistema de posicionamento NAVSTAR/GPS*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995, 225 páginas.