

EVILÁZIO DA MOTA LEAL

ANÁLISE DA QUALIDADE POSICIONAL EM BASES CARTOGRÁFICAS GERADAS EM CAD

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Quintino Dalmolin

CURITIBA

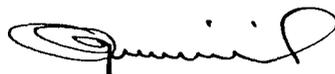
1998

“ANÁLISE DA QUALIDADE POSICIONAL EM BASES CARTOGRÁFICAS GERADAS EM CAD”

POR

EVILÁZIO DA MOTA LEAL

Dissertação aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. QUINTINO DALMOLIN -
Orientador e Presidente



Prof. Dr. JAIR MENDES MARQUES. - Membro



Prof.^a MARY ANGÉLICA DE AZEVEDO OLIVAS, MSc - Membro

Dedico este trabalho aos amigos do *Gueto*,
pela amizade e companheirismo

aos meus pais

Delcides (*in memoriam*)

Elvira

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto de Geociências Aplicadas – IGA, na pessoa do seu diretor, Prof. Paulo Rogério Junqueira Alvim, pela confiança e apoio dispendidos para realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas de trabalho, Sérgio Roberto Gouveia e Cláudia Constantina Saltarelli Saraiva, pelo apoio e incentivo na hora certa.

À prof^ª Ednéa Maria da Consolação Brun, que contribuiu nos primeiros passos desta caminhada.

Aos meus irmãos, parentes e amigos, que me incentivaram e acompanharam minha luta.

À minha mãe e amiga Sra. Elvira da Mota Leal, pela compreensão da minha ausência nos momentos de dificuldades que enfrentamos.

Ao amigos do *gueto*, especialmente a Alcides Ferreira da Silva Júnior, João Batista Ramos Cortes, Lincoln Diniz Carvalho e Rosane de Castro Costa, por tudo que passamos juntos.

À amiga, prof^ª. Léa das Graças Camargos Anastasiou, por ter nos "adotado" desde os primeiros dias em Curitiba.

Agradeço de forma muito especial à minha companheira Rosane de Castro Costa que, junto comigo, trilhou por todos os caminhos com muita garra, perseverança e espírito de luta, nos bons e maus momentos que vivemos nesta empreitada.

Ao Prof. Dr. Quintino Dalmolin, pela amizade, incentivo e equilíbrio na orientação deste trabalho.

Ao colega, Carlito Vieira de Moraes, pelas valiosas sugestões e contribuições dadas neste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE SIGLAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Fontes de dados	4
2.2 Considerações sobre CAD e UCAMS.....	5
2.3 Estrutura física dos dados espaciais em meio digital	6
2.3.1 Pontos	7
2.3.2 Linhas.....	8
2.3.3 Áreas	8
2.4 O processo de digitalização.....	10
2.5 Erros, acurácia e precisão	12
2.6 Qualidade posicional sob o ponto de vista do usuário e do produtor	14
2.7 Considerações sobre classificação de documentos cartográficos	19
2.8 Aspectos importantes sobre classificação de cartas	22
2.8.1 Escolha dos critérios de avaliação	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Resumo de atividades.....	26
3.2 Recursos utilizados.....	27
3.3 Critérios para escolha das cartas gráficas a serem testadas	27
3.4 Área de estudo.....	28
3.5 Critérios para identificação de pontos na carta	30

3.6	Número de pontos para o teste.....	31
3.7	Coleta dos pontos em campo.....	32
3.8	Obtenção de coordenadas na carta gráfica e carta digital impressa.....	34
3.8.1	Obtenção das coordenadas planimétricas	36
3.8.2	Obtenção das coordenadas altimétricas	37
3.9	O processo de digitalização da área de estudo.....	39
3.9.1	Altimetria	40
3.9.2	Malha viária.....	41
3.9.3	Drenagem.....	43
3.9.4	Outras feições lineares.....	44
3.9.5	Elementos textuais	47
3.9.6	Elementos de área	48
3.9.7	O processo de edição	52
3.10	Descrição dos testes de cartas.....	53
3.10.1	Teste de normalidade.....	56
4	TESTES E RESULTADOS.....	60
4.1	Execução do Teste 1 – carta gráfica x campo	60
4.1.1	Planimetria	60
4.1.1.1	Teste de normalidade	61
4.1.1.2	Avaliação da acurácia.....	62
4.1.1.3	Avaliação da precisão.....	67
4.1.2	Altimetria	72
4.1.2.1	Teste de normalidade	73
4.1.3	Classificação da carta gráfica	75
4.1.3.1	Planimetria.....	75
4.1.3.2	Altimetria.....	76
4.2	Execução do Teste 2 – arquivo digital x campo.....	76
4.2.1	Planimetria	77
4.2.1.1	Teste de normalidade	77
4.2.1.2	Avaliação da acurácia.....	79
4.2.1.3	Avaliação da precisão.....	84
4.2.2	Altimetria	89

4.2.2.1	Teste de normalidade	89
4.2.3	Classificação do arquivo digital.....	91
4.2.3.1	- Planimetria.....	91
4.2.3.2	- Altimetria.....	91
4.3	Execução do Teste 3– Carta digital impressa x campo	92
4.3.1	Planimetria	92
4.3.1.1	Teste de normalidade	93
4.3.1.2	Avaliação da acurácia.....	94
4.3.1.3	Avaliação da precisão.....	99
4.3.2	Altimetria	103
4.3.2.1	Teste de normalidade	104
4.3.3	Classificação da carta digital impressa	105
4.3.3.1	Planimetria.....	105
4.3.3.2	Altimetria.....	106
4.4	Análise dos resultados do teste 1	106
4.5	Análise dos resultados do teste 2	109
4.6	Análise dos resultados do teste 3.....	111
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	113
ANEXO I	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ÍNDICE REMISSIVO	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: PEC e Erro Padrão para diferentes escalas	18
Tabela 2: Coordenadas UTM dos pontos de campo	33
Tabela 3: Leituras planimétricas sobre os pontos de controle	36
Tabela 4: Leituras para determinação de altitudes h interpoladas	38
Tabela 5: Cálculo da altitude h interpolada no arquivo digital	55
Tabela 6: <i>Percent points of the normal probability plot correlation coefficient</i> r	57
Tabela 7: Erros entre coordenadas da carta gráfica e coordenadas de campo	60
Tabela 8: Etapas no cálculo do coeficiente de correlação r para planimetria - teste 1	61
Tabela 9: Etapas no cálculo do coeficiente de correlação r para altimetria – teste 1	74
Tabela 10: Erros entre arquivo digital e dados de campo	77
Tabela 11: Etapas no cálculo do coeficiente de correlação r para planimetria – teste 2	78
Tabela 12: Etapas no cálculo do coeficiente de correlação r para altimetria – teste 2	89
Tabela 13: Erros entre carta digital impressa e campo	92
Tabela 14: Etapas no cálculo do coeficiente de correlação r para planimetria – teste 3	93
Tabela 15: Etapas no cálculo do coeficiente de correlação r para altimetria – teste 3	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-a: ponto no espaço bidimensional	7
Figura 1-b: ponto no espaço tridimensional	7
Figura 2-a: linha reta	8
Figura 2-b: linha curva	8
Figura 3: polígono regular ortogonal	8
Figura 4: polígono regular não ortogonal	9
Figura 5: polígono irregular	9
Figura 6: intervalos de 95% de confiança para a proporção da população π	24
Figura 7: localização da área de estudo	29
Figura 8: distribuição dos pontos de controle	31
Figura 9: origem das leituras com o coordenatógrafo	35
Figura 10: distâncias para interpolação de altitudes h	37
Figura 11: digitalização de curvas de nível	40
Figura 12-a: malha viária	41
Figura 12-b: malha viária	41
Figura 13: representação de trevos na malha viária	42
Figura 14: traçado diferenciado na mesma feição	42
Figura 15: digitalização de drenagens	43
Figura 16-a: traçado convencional de ferrovia	45
Figura 16-b: traçado especial de ferrovia	45
Figura 17: traçado de cercas	46

Figura 18-a: polígono com traçado convencional e simbologia	49
Figura 18-b: polígono com traçado convencional sem simbologia	49
Figura 19: polígono com traçado especial e simbologia	50
Figura 20: polígono irregular - limites comuns e feições lineares distintas	51
Figura 21: feição poligonizada – traçado único	52
Figura 22: distâncias tomadas no arquivo digital	55
Figura 23: gráfico <i>Q.Q Plot</i> para planimetria – teste 1	62
Figura 24: intervalo de confiança de 90% para o teste 1 - planimetria	63
Figura 25: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe A	65
Figura 26: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe B	66
Figura 27: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe A	69
Figura 28: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe B	70
Figura 29: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe C	71
Figura 30: gráfico <i>Q.Q Plot</i> para altimetria - teste 1	75
Figura 31: gráfico <i>Q.Q Plot</i> para o teste 2 - planimetria	79
Figura 32: intervalo de confiança de 90% para o teste 2 - planimetria	80
Figura 33: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe A	81
Figura 34: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe B	82
Figura 35: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe C	83
Figura 36: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe A	85
Figura 37: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe B	86
Figura 38: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe C	88

Figura 39: gráfico <i>Q.Q Plot</i> para altimetria – teste 2	90
Figura 40: gráfico <i>Q.Q Plot</i> para planimetria – teste 3	94
Figura 41: intervalo de confiança de 90% para o teste 3 - planimetria	95
Figura 42: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe A	96
Figura 43: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe B	97
Figura 44: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe C	98
Figura 45: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe A	100
Figura 46: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe B	101
Figura 47: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe C	102
Figura 48: gráfico <i>Q.Q Plot</i> para altimetria – teste 3	105

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BA	Bahia
CAC	Cartografia Apoiada por Computador
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEN	<i>European Committee for Standardisation</i>
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
DF	Distrito Federal
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
ES	Espírito Santo
GO	Goiás
GPS	<i>Global Position System</i>
IGA	Instituto de Geociências Aplicadas
ISO	<i>International Standardisation Organisation</i>
MG	Minas Gerais
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RJ	Rio de Janeiro
SAD-69	<i>South American Datum-69</i>
SC	Santa Catarina
SGBD	Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SMDT	Sistemas de Modelos Digitais do Terreno
SP	São Paulo
UCAMS	<i>Universal Computer Aided Mapping Systems</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System-84</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS	Valor absoluto
Altim.	Altimétrico
Altit.	Altitude
Art.	Artigo
<u>d1</u>	Distância da origem a 1ª curva
<u>d2</u>	Distância da origem ao ponto considerado
<u>d3</u>	Distância da origem a 2ª curva
<u>d4</u>	Distância entre curvas
<u>d5</u>	Distância da curva 1 ao ponto observado
Dist.	Distância
E	Coordenada Este
Eqd.	Eqüidistância
Gb	<i>Gigabyte</i>
H	Altitude elipsoidal
h	Altitude pseudo-ortométrica
I.C	Intervalo de confiança
interpol.	Interpolação
K_0	Fator de deformação linear no meridiano central
km	Quilômetro
Leit.	Leitura
m	Metro
Mb	<i>Megabyte</i>
Mhz	<i>Megahertz</i>
mm	Milímetro
N	Coordenada Norte
P	Proporção
p	Probabilidade
$p_{acum.}$	Probabilidade acumulada
Plan.	Planimetria
R.A	Região de aceitação estatística
R.R	Região de rejeição estatística
RRNN	Referências de nível
r_{tab}	Coefficiente de correlação tabelado

LISTA DE SÍMBOLOS

\S	Parágrafo
σ	Desvio padrão populacional
μ	Média populacional
λ	Longitude
Σ	Somatório
α	Nível de significância
ν	Graus de liberdade
φ	Latitude
π	Proporção populacional
μ_0	Média populacional esperada
σ_0^2	Variância populacional esperada
χ^2	Qui-quadrado
σ^2	Variância populacional
χ^2_{α}	Ponto crítico unilateral direito de χ^2
$\chi^2_{1-\alpha}$	Ponto crítico unilateral esquerdo de χ^2
\bar{x}	Média amostral
H_0	Hipótese nula
H_1	Hipótese alternativa
n	tamanho da amostra
r	Coefficiente de correlação
s^2	Variância amostral
t	Distribuição de <i>Student</i>
t_{α}	Ponto crítico de t
X, Y	Coordenadas no plano cartesiano
Z	Componente de atributo no arquivo digital
z	Distribuição normal

RESUMO

Neste trabalho é discutida a qualidade posicional de bases cartográficas, ferramentas básicas para os mapeamentos temáticos, além de fundamentais às ações de planejamento. Pontos de controle foram coletados em campo com receptores geodésicos GPS, no Distrito Industrial de Itaúna - MG e serviram como base para apurar erros planimétricos e altimétricos entre coordenadas correspondentes em (1) um documento gerado por restituição fotogramétrica analógica, (2) um arquivo digital gerado por digitalização manual em mesa digitalizadora e (3) uma carta digital impressa em *plotter*. Testes estatísticos foram conduzidos de forma a avaliar os erros cometidos, e se mostraram eficientes na validação da qualidade posicional das bases cartográficas, além de darem subsídios ao usuário para classificá-las conforme a norma vigente e julgá-las como satisfatórias ou não aos fins a que se destinam .

ABSTRACT

In this work we discuss the positional quality of cartographic bases, regarded as basic tools to thematic mapping and planning. Control points were collected in the field with GPS geodetic receivers in the Itaúna Industrial district, Minas Gerais, Brazil. This data served as basis to verify planimetric and altimetric errors between corresponding co-ordinates in (1) a document generated by analogical photogrammetric restitution, (2) a digital file generated by manual digitising in digitising table and (3) a digital chart printed by plotter. Statistical tests were carried to evaluate errors and showed effectiveness in the validation of the positional quality of cartographic bases as well as providing subsidies for users to classify them according to the valid rule, evaluating its usefulness to the task of mapping and planning.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

Os órgãos responsáveis pela cartografia oficial no Brasil, tanto na esfera Federal quanto Estadual, historicamente desenvolveram uma cartografia norteada pelos métodos analógicos tradicionais. Com o avanço da tecnologia digital e a inserção da cartografia neste contexto, problemas antigos foram resolvidos, mas outros, como a falta de normas adequadas, parâmetros de avaliação e conversão de dados, começaram a surgir.

A cartografia digital foi pensada e desenvolvida a princípio para acelerar a produção de mapas e tornar mais ágeis os processos de edição, incluindo as generalizações, correções, atualizações e todo um rol de procedimentos que no processo cartográfico convencional se torna dispendioso e demorado.

A questão da manutenção e da melhoria da qualidade do produto surgiu como uma abordagem secundária, não que estas fossem menos importantes do que as demais, mas, principalmente, devido à necessidade de produção e pelo dinamismo que domina as tecnologias de *software* e *hardware*. A necessidade de mapear e a demanda são crescentes, enquanto as alternativas são paradoxais, pois, quando se prioriza produção, a qualidade tende a decrescer, correndo assim os riscos de:

- atender a demanda sem atingir a qualidade desejada, ou
- atingir a qualidade por meio de planejamento adequado, mas não obter produção satisfatória.

O ideal é o equilíbrio, aqui representado pelo meio termo entre as duas situações acima colocadas, utilizando para isto normas e parâmetros mínimos que garantam a qualidade do produto no final do processo sem que se perca a evolução das tecnologias.

Os trabalhos hoje ofertados pela cartografia digital, provocam discussões e muitas vezes resistência entre os especialistas nesta área, pois de um lado há a necessidade de se representar o mais fielmente possível todas as feições da área mapeada, para que esta possa cumprir a sua função enquanto carta e se enquadrar nos padrões determinados para o mapeamento em território nacional, dentre eles o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), estabelecido pelo Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984 (Anexo I).

Por outro lado, faltam diretrizes que determinem a uniformidade destes trabalhos, visto que, no decreto supracitado, não estão contemplados procedimentos para avaliação da cartografia digital, mesmo porque, na data da sua publicação, poucas eram as experiências registradas nesta área.

Segundo ÖSTMAN (1997), padrões para especificações de qualidade de dados espaciais e rotinas de garantia de qualidade estão sendo desenvolvidos pelo *European Committee for Standardisation* (CEN) e pela *International Standardisation Organisation* (ISO), mas um dos problemas é exatamente a falta de experiências documentadas. A proposta de padronização apresentada pelo CEN é a primeira a alcançar um estágio formal e espera-se que seja apreciada e votada durante o ano de 1998. Nesta proposta são considerados os parâmetros de acurácia posicional, temática, temporal, consistência lógica e perfeição.

Neste trabalho tomou-se como objeto de investigação a qualidade posicional em bases cartográficas digitais, e devido à falta de padrões estabelecidos nesta área, principalmente no Brasil, adotou-se os padrões de avaliação previstos no decreto 89.817, por entender que estes se aplicam à situação de transição.

Tem-se portanto com este trabalho o objetivo geral de analisar a qualidade posicional das feições planimétricas e altimétricas em bases cartográficas digitais e estabelecer procedimentos capazes de classificá-las conforme preconiza a legislação.

Como objetivos específicos, pretende-se sistematizar procedimentos que permitam avaliar a qualidade posicional de documentos cartográficos analógicos e digitais pela análise do produto e não pelo controle do processo, e posteriormente implantá-los no Instituto de Geociências Aplicadas (IGA), órgão que tem por finalidade coordenar e executar pesquisas e trabalhos técnicos-científicos nas áreas de Cartografia, Geografia e Geologia, no âmbito do Estado de Minas Gerais.

Julga-se relevante a discussão deste tema, pois cobre um assunto pouco abordado na literatura nacional e ao mesmo tempo discute e propõe o emprego de procedimentos estatísticos mais flexíveis e tão eficazes quanto aqueles implícitos no Decreto 89.817.

Considera-se também a demanda de produtos cartográficos em formato digital pelo IGA, que requer bases cartográficas digitais que tenham padrão de qualidade conhecido, estejam de acordo com as especificações oficiais do PEC e representem todos os detalhes componentes dos produtos que as geraram, podendo desta forma serem utilizadas como produto da Cartografia Apoiada por Computador (CAC) e pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), além de facilitarem o intercâmbio com outros aplicativos computacionais que manipulam a informação espacial.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo foram revistos os principais temas que dão suporte a este trabalho. Procurou-se ordená-los conforme a seqüência metodológica estabelecida, ou seja, os primeiros itens se referem às fontes de dados, ferramentas e processos de entrada e estrutura de armazenamento. Erros e qualidade também foram tratados nesta revisão, bem como aspectos importantes sobre a classificação de cartas. Alguns critérios adotados nos trabalhos de campo e de escritório foram abordados em conjunto com seus tópicos relacionados, já na fase de desenvolvimento.

2.1 Fontes de dados

As fontes de dados para os mapas digitais podem se dividir em captura de dados primários, coletados a partir de fotografias aéreas, levantamentos diretos ou imagens de sensoriamento remoto e dados secundários, obtidos a partir de fontes da cartografia convencional (mapas e cartas topográficas por exemplo).

Segundo JACKSON & WOODSFORD (1991), mesmo em países que possuem uma cobertura substancial ou completa em determinadas escalas, os dados secundários ainda continuam sendo as maiores fontes de recursos para os mapas digitais. Estes são mais abundantes e de conversão mais barata, enquanto que a coleta de dados primários, apesar de vantajosa, demanda maiores recursos financeiros, nem sempre

disponíveis. No Brasil, a realidade não é diferente, pois acredita-se que a grande maioria dos dados digitais hoje existentes são oriundos de dados secundários.

Neste trabalho discute-se a qualidade posicional dos dados introduzidos em meio digital a partir desta fonte, que comumente não trazem a especificação do Padrão de Exatidão Cartográfica. Há que se considerar que além dos erros inerentes ao produto de origem, são inseridos diversos outros provenientes do processo de digitalização.

2.2 Considerações sobre CAD e UCAMS

Os *Computer Aided Design* (CAD) são ferramentas usadas na elaboração de desenhos assistidos ou auxiliados por computador, com funções capazes de criar, manipular e modificar informações gráficas em formato vetorial.

Inicialmente o desenvolvimento dos CAD acabou por caracterizá-los como um *software* de aspecto generalista, abrindo desta forma espaço para os chamados *Universal Computer Aided Mapping Systems* (UCAMS), que permitem maior versatilidade na execução de tarefas mais específicas da cartografia.

Segundo RAMIREZ (1991), Os UCAMS possuem todas as características dos CAD convencionais acrescido de módulos que permitem uma melhor manipulação de feições cartográficas. Em resumo, os UCAMS podem ser considerados como um CAD especialista em resolver problemas inerentes à cartografia digital.

Tanto os CAD quanto os UCAMS são importantes instrumentos para geração de bases cartográficas e são capazes de garantir bom grau de precisão e qualidade gráfica destas.

Os sistemas CAD se tornaram padrão no tratamento de dados vetoriais devido à sua simplicidade e penetração em diversas áreas do conhecimento e se destacam nas tarefas de formação de bases e atualizações cartográficas. Segundo CROSTA & GUIMARÃES FILHO (1994), pelas suas potencialidades os CAD não devem ser vistos somente como ferramenta de auxílio ao desenhista, mas como meio de entrada de dados, interagindo com programas mais especializados como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) e Sistemas de Modelos Digitais do Terreno (SMDT).

A utilização de CAD/UCAMS pode ser também entendida como uma fase preparatória para se passar dos procedimentos analógicos tradicionais para a implantação de um Sistema de Informação Geográfica.

Neste trabalho, utilizou-se o CAD do fabricante *Autodesk* denominado *AutoCAD*, pois este possui diversas ferramentas que facilitam o processo de digitalização, além de utilizar como padrão para intercâmbio de arquivos o formato DXF, largamente utilizado por outros aplicativos. Soma-se a isto o interesse institucional do IGA no estudo e na manipulação do *software*, que é amplamente utilizado em suas repartições.

2.3 Estrutura física dos dados espaciais em meio digital

Duas são as estruturas básicas de armazenamento e representação em meio digital: a estrutura celular, também conhecida como *teselar* ou *raster* e a estrutura vetorial, também denominada de pontual ou linear.

Segundo ARIAS (1991), a estrutura vetorial é mais adequada para representar a geometria linear dos elementos, enquanto a estrutura *raster* é adequada para

representação de áreas onde o aspecto fundamental é o seu conteúdo, como no caso dos mapas temáticos.

Neste trabalho, adota-se a estrutura vetorial como forma de representação e armazenamento, pois segundo TEIXEIRA *et al.* (1992),

a representação vetorial de um elemento é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. Assume-se o espaço como contínuo, o que permite que todas as posições, distâncias e áreas sejam definidas com um grau de precisão muito maior. Os métodos vetoriais assumem que as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas. Além disso, usam relações implícitas, permitindo que dados complexos sejam armazenados em menor espaço no computador. Em forma vetorial qualquer elemento pode ser reduzido em três formas básicas: pontos, linhas e áreas ou polígonos.

2.3.1 Pontos

Um ponto pode ser registrado mediante um par de coordenadas X,Y (figura 1-a) ou ainda acrescido de uma coordenada Z que pode armazenar uma informação como a altitude por exemplo (figura 1-b).

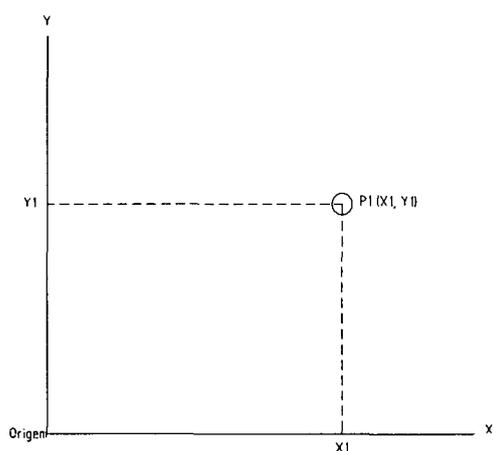


Figura 1-a: ponto no espaço bidimensional

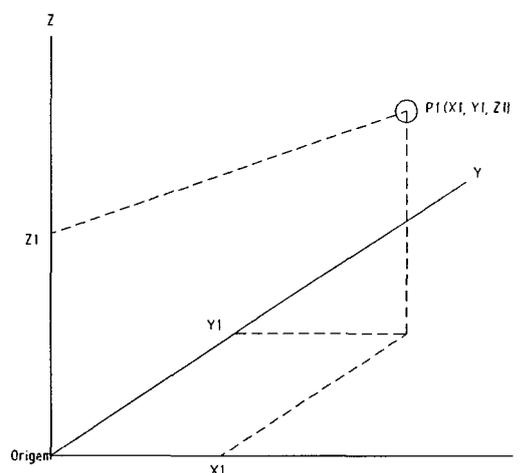


Figura 1-b: ponto no espaço tridimensional

2.3.2 Linhas

Uma linha pode ser representada como reta, que se materializa por 2 pontos (figura 2-a) ou como curva, que se materializa por uma seqüência de pontos com origem e fim determinados (figura 2-b).

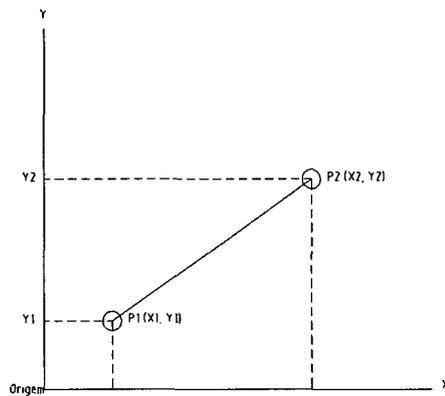


Figura 2-a: linha reta

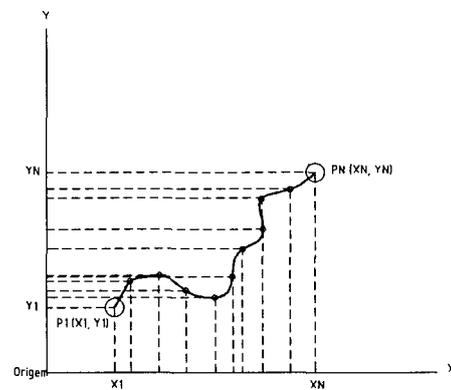


Figura 2-b: linha curva

2.3.3 Áreas

Área trata-se de uma entidade linear fechada, isto é, o ponto de origem é coincidente com o ponto final, permitindo desta forma operações de cálculo de área.

Segundo MITISHITA (1997), as entidades de área podem ser subdivididas em:

- polígonos regulares ortogonais que são materializados a partir de conexões ortogonais de segmentos lineares retos (figura 3);

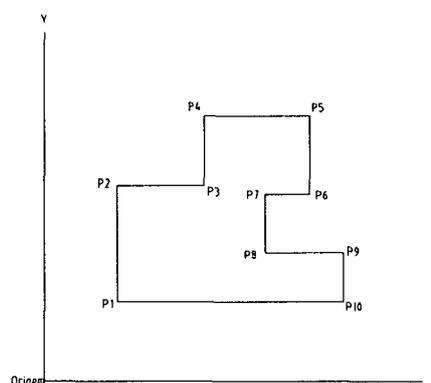


Figura 3: polígono regular ortogonal

- polígonos regulares não ortogonais que são materializados pela conexão de segmentos lineares retos, com a conexão se dando em qualquer ângulo (figura 4);

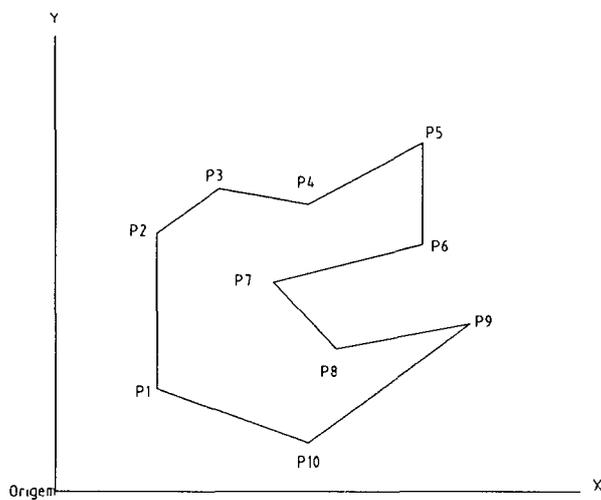


Figura 4: polígono regular não ortogonal

- polígonos irregulares que são materializados por segmentos retos e curvos e são constituídos de um número maior de pontos (figura 5).

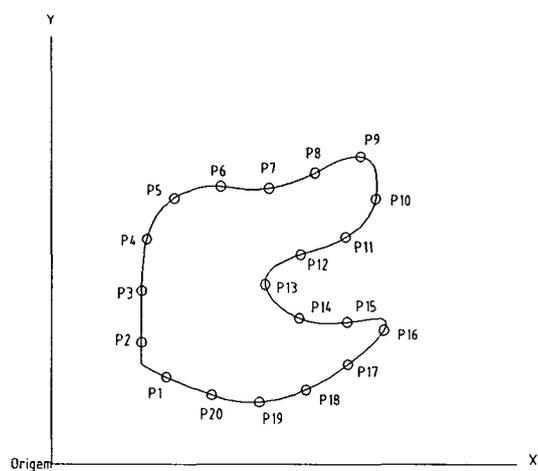


Figura 5: polígono irregular

Segundo TEIXEIRA *et al.* (1992), "no formato vetorial, as saídas convencionais como impressoras e plotters permitem uma apresentação mais adequada dos resultados, não só do ponto de vista estético, mas também pelo fato de que o produto final assemelha-se muito mais à forma convencional de elaboração de mapas".

2.4 O processo de digitalização

A digitalização pode ser feita por processo manual, semi-automático e automático. Para a digitalização manual, a mesa digitalizadora é o periférico básico. As mesas são superfícies planas para a fixação de mapas ou desenhos e se comunicam com o computador através de um cursor, que ao ser pressionado funciona como um gerador de corrente elétrica, que será captada por uma fina retícula de fios no interior da mesa. Quando se aciona o cursor, acontece o endereçamento de um par de coordenadas X,Y que é enviado ao computador.

Para se aferir a qualidade da digitalização são observadas resolução e precisão. Entende-se resolução como a menor distância mensurável ao longo dos eixos vertical e horizontal da mesa, e está diretamente dependente do espaçamento entre os fios que formam a malha reticular desta, que em média se situa em torno de 0,025 mm. Precisão é definida pelo erro máximo decorrente de uma série de medidas sobre um mesmo ponto, normalmente ficando em torno de +/- 0,25 mm, dependendo do equipamento.

A digitalização pode ser feita ponto a ponto ou no modo contínuo, também conhecido como *Stream* ou *Sketch* em alguns *softwares*. Sem considerar a habilidade do operador, ambos os métodos apresentam vantagens e desvantagens.

No modo contínuo, baseado no "incremento distância especificada", as coordenadas são transmitidas ao computador de modo contínuo até que o operador interrompa o processo. Isto facilita a digitalização de arcos maiores como as curvas de nível, porém pode gerar um grande volume de pontos, aumentando desta forma o tamanho dos arquivos ou gerar curvas pouco suaves se a escolha do valor incremental não estiver compatível com a escala de trabalho. No método ponto a ponto, o operador tem a liberdade de digitalizar os vértices que melhor definem as feições cartográficas, com a desvantagem de ser mais trabalhoso.

Neste trabalho, optou-se pelo traçado ponto a ponto, pois sobrecarrega menos o arquivo além de considerar facilidades operacionais embutidas nas ferramentas de digitalização do *AutoCAD*, como uso de polilinhas ou multilinhas com largura especificada, facilidade de conexão de feições lineares (rede de drenagem por exemplo) usando os recursos de proximidade (fim de ponto, ponto mais próximo, etc.). Avaliou-se que estas facilidades proporcionam ganho de tempo, facilitam a edição e proporcionam melhor precisão no traçado. Porém, a escolha do método mais adequado é uma questão de planejamento e está em função das peculiaridades de cada trabalho.

No processo de digitalização são escolhidos pontos de coordenadas conhecidas para orientar a carta gráfica sobre a mesa digitalizadora e vinculá-la a um sistema de referência. Para orientação foram escolhidos os 4 pontos extremos de coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) de forma a cobrir todas as feições a serem digitalizadas, permitindo assim avaliar os erros residuais cometidos na orientação.

Outros pontos importantes também foram observados na digitalização:

- identificação de escala;
- sistema geodésico;
- sistema de projeção;
- definições de camadas, tipos de traços, cores, fontes de textos, padrões de hachuras;
- dimensionamento de estilos e padrão para símbolos e textos.

2.5 Erros, acurácia e precisão

Na geração de produtos cartográficos, erros podem ocorrer em diferentes etapas do processo e, na prática, é o que normalmente acontece. Os erros podem ser atribuídos à falibilidade humana, imperfeição de equipamentos e influência das condições ambientais (GEMAEL, 1994).

Os erros classificam-se em grosseiros, sistemáticos e acidentais. Erros grosseiros ocorrem principalmente devido à falta de atenção do observador, mas podem ocorrer também em registros de informações eletrônicas *noise*. Quando têm grande magnitude são fáceis de detectar, mas se torna difícil quando pequenos (GEMAEL, 1994).

Erros sistemáticos são gerados por causas conhecidas, como imperfeições de equipamento, condições do meio e podem também estar associados ao homem, podendo ser evitados ou eliminados por técnicas e formulações adequadas (GEMAEL, 1994).

Os erros acidentais ocorrem ao acaso e de forma aleatória, não podendo ser vinculados a nenhuma causa conhecida e se caracterizam por apresentar uma distribuição normal com uma frequência maior de erros menores (GEMAEL, 1994).

Neste trabalho, o tratamento estatístico visa avaliar erros sistemáticos e erros acidentais/estatísticos, a fim de se determinar a confiabilidade de uma base cartográfica, baseado em percentuais aceitáveis para sua ocorrência conforme previsto no decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

Observando a utilização equivocada dos termos precisão e acurácia em alguns textos, vê-se a necessidade de defini-los, pois estes tornam-se peças fundamentais para o bom entendimento, uma vez que fazem parte de toda a formulação teórica que dá suporte aos testes desenvolvidos neste trabalho.

Segundo ANDRADE (1991), deve-se entender o termo exatidão cartográfica como sinônimo de acurácia, que é o afastamento que, como um todo, a carta teria da verdade topográfica, enquanto que precisão refere-se unicamente à dispersão de valores observados, no caso, dos erros nos vários pontos da carta. (...) "... reportando-nos aos conceitos de exatidão e precisão, concluímos que, testados n pontos de uma carta, a média μ dos erros obtidos representa sua exatidão, enquanto o desvio padrão σ indica a precisão da mesma."

Pode-se dizer ainda que precisão é "o grau de concordância de uma série de medidas feitas sob condições similares" ou "o desvio de um conjunto de valores de sua média." Traduz-se portanto na confiabilidade das cartas em possibilitar ao usuário uma avaliação da dispersão ao se tomar posições planimétricas e/ou altimétricas.

HELENE & VANIN (1981), associam o termo erro sistemático à idéia e conceito de acurácia, e usam o termo erro estatístico como sinônimo de erro acidental e o vincula à idéia e conceito de precisão.

Para VUOLO (1992), precisão é uma palavra utilizada com relação aos erros estatísticos/acidentais, assim quanto menor é o erro estatístico, tanto maior é a precisão medida, enquanto que acurácia, descreve a proximidade do valor amostral com o valor verdadeiro. PELZER (1983), denomina de desvio sistemático, a diferença entre o valor médio esperado μ e o valor verdadeiro, e considera desejável que este seja pequeno; na sua ausência, ou seja, $\mu = 0$ pode-se descrever a incerteza da medição somente pelo desvio padrão, que neste caso avaliaria tanto acurácia quanto precisão.

2.6 Qualidade posicional sob o ponto de vista do usuário e do produtor

A qualidade de uma carta pode ser abordada considerando dois pontos de vista distintos, o do produtor e o do usuário ou contratante.

Na literatura estrangeira observa-se que os procedimentos adotados para auferir a qualidade de uma carta consideram estas duas posições e analisam o risco do produtor, que consiste em rejeitar incorretamente uma carta qualificada e o risco do consumidor, que consiste em aceitar uma carta desqualificada (ARONOFF, 1982-a; ARONOFF, 1982-b; GINEVAN, 1979; YEU *et al.*, 1996).

A coleta de pontos em campo, para o controle de qualidade, implica no aumento do custo de produção e é função do número de pontos observados. Sob o enfoque estatístico, o conveniente seria coletar o maior número possível de pontos para a análise, mas isto poderia tornar os custos proibitivos. O ideal seria trabalhar com um número de pontos que pudessem assegurar a qualidade da carta e que fossem representativos do conjunto sem comprometer financeiramente o projeto.

No Brasil, o que se pratica em termos de controle de qualidade de produtos cartográficos difere dos padrões internacionais, visto que as nossas organizações não têm tradição neste controle. O que se verifica no ato da contratação de serviços são exigências mínimas com relação à qualidade do produto.

Segundo BRITO (1987), basicamente no processo de restituição podem ser adotados controles na planimetria para erros de:

- determinação planimétrica dos pontos de apoio de campo;
- orientação absoluta, usando-se pontos de aerotriangulação;
- deformações na projeção e na observação do modelo estereoscópico;
- colimação ou erro de pontaria;
- operação de retoque da restituição;
- gravação ou erro de desenho e

erros altimétricos de:

- determinação altimétrica dos pontos de apoio de campo;
- instrumento restituidor;
- aerotriangulação;
- inclinação média do terreno;
- erro médio quadrático total planimétrico, excluindo o erro de pontaria.

Estes são parâmetros para se calcular o erro médio quadrático total previsível e fornecem a estimativa de precisão de uma carta. Valores empíricos são adotados e variam em função da escala dos diapositivos, escala da carta, método de aerotriangulação e equipamento utilizado na restituição.

Este modelo geralmente é adotado pelo produtor, que por meio de procedimentos próprios pode controlar a precisão do material cartográfico. Este mesmo produtor, no entanto, não adota procedimentos que confrontam dados confiáveis de campo com o material cartográfico produzido e desta forma não pode avaliar a acurácia.

Ao usuário cabe certificar a qualidade do produto e, neste trabalho, é apresentado e sugerido o controle de qualidade pela equipe do usuário contratante, pois garante a lisura do processo e a independência de procedimentos. Desta forma não se corre o risco de trabalhar com dados "viciados", além de poder adequar o rigor do processo às suas necessidades e condições financeiras.

Os testes estatísticos para avaliar precisão e a seqüência de procedimentos apresentados no desenvolver deste trabalho, não objetivam apurar erros isoladamente, mas considerá-los globalmente como um conjunto de erros e se baseiam na análise do erro padrão. O que se deseja avaliar é a precisão da carta considerando a magnitude dos erros cometidos e não em que fase eles ocorreram.

A opção pelo tratamento global dos erros permite ainda avaliar a precisão de outras cartas não produzidas pela restituição, como é o caso dos levantamentos diretos em suas diversas modalidades, onde os erros introduzidos na confecção da carta não possuem as mesmas componentes anteriormente citadas.

A análise global dos erros não implica em inobservância dos cuidados necessários para que se tenha uma carta de boa qualidade, onde deverão ser consideradas, rotineira e individualmente, cada fase da construção, conforme previsto na Norma Brasileira 13133 que trata o procedimento à execução de levantamento topográfico, (ABNT, 1994) e

manuais técnicos de aerolevantamentos e fotogrametria. Garante-se desta forma, uma carta de boa precisão e com chances de aprovação nos testes a que serão submetidas.

Testes de acurácia também são conduzidos observando o erro médio cometido entre o posicionamento das feições e suas posições equivalentes no terreno, obtidas por levantamentos GPS. Supre-se com este teste a lacuna deixada pelo produtor, além de dar credibilidade ao produto gerado.

Segundo ANTUNES & LINGNAU (1997), um mapeamento só deve ser utilizado como fonte fidedigna de informações quando associado a processos de avaliação da acurácia dos dados que o compõem. Acredita-se que a observância de padrões avaliadores de acurácia seja adequada para o processo de entrada, edição e controle de qualidade, pois certamente dá o real valor da informação cartográfica digital.

O decreto 89.817 não se refere às escalas que deverão ser contempladas pela avaliação, porém estabelece o PEC e o erro padrão que permitem classificar cartas como A, B ou C, deixando implícito que, para todas as escalas, este padrão poderá ser usado. A distinção se dá apenas nos valores encontrados conforme a escala em que se deseja trabalhar.

A tabela 1 mostra qual o PEC e o erro padrão com base nos valores estabelecidos pelo Decreto e simula o erro em metros para diferentes escalas.

TABELA 1: PEC E ERRO PADRÃO PARA DIFERENTES ESCALAS

Escala	Classe	PEC				Erro Padrão			
		Planimétrico		Altimétrico		Planimétrico		Altimétrico	
		Carta (mm)	Terreno (m)	Carta (Eqd.)	Terreno (m)	Carta (mm)	Terreno (m)	Carta (Eqd.)	Terreno (m)
1:1000	A	0.5	0.5	1*(1/2)	0.5	0.3	0.3	1*(1/3)	0.3
	B	0.8	0.8	1*(3/5)	0.6	0.5	0.5	1*(2/5)	0.4
	C	1.0	1.0	1*(3/4)	0.8	0.6	0.6	1*(1/2)	0.5
1:2000	A	0.5	1.0	1*(1/2)	0.5	0.3	0.6	1*(1/3)	0.3
	B	0.8	1.6	1*(3/5)	0.6	0.5	1.0	1*(2/5)	0.4
	C	1.0	2.0	1*(3/4)	0.8	0.6	1.2	1*(1/2)	0.5
1:5000	A	0.5	2.5	2*(1/2)	1.0	0.3	1.5	2*(1/3)	0.7
	B	0.8	4.0	2*(3/5)	1.2	0.5	2.5	2*(2/5)	0.8
	C	1.0	5.0	2*(3/4)	1.5	0.6	3.0	2*(1/2)	1.0
1:10000	A	0.5	5.0	5*(1/2)	2.5	0.3	3.0	5*(1/3)	1.7
	B	0.8	8.0	5*(3/5)	3.0	0.5	5.0	5*(2/5)	2.0
	C	1.0	10.0	5*(3/4)	3.8	0.6	6.0	5*(1/2)	2.5
1:25000	A	0.5	12.5	10*(1/2)	5.0	0.3	7.5	10*(1/3)	3.3
	B	0.8	20.0	10*(3/5)	6.0	0.5	12.5	10*(2/5)	4.0
	C	1.0	25.0	10*(3/4)	7.5	0.6	15.0	10*(1/2)	5.0
1:50000	A	0.5	25.0	20*(1/2)	10.0	0.3	15.0	20*(1/3)	6.6
	B	0.8	40.0	20*(3/5)	12.0	0.5	25.0	20*(2/5)	8.0
	C	1.0	50.0	20*(3/4)	15.0	0.6	30.0	20*(1/2)	10.0
1:100000	A	0.5	50.0	50*(1/2)	25.0	0.3	30.0	50*(1/3)	16.7
	B	0.8	80.0	50*(3/5)	30.0	0.5	50.0	50*(2/5)	20.0
	C	1.0	100.0	50*(3/4)	37.5	0.6	60.0	50*(1/2)	25.0
1:250000	A	0.5	125.0	100*(1/2)	50.0	0.3	75.0	100*(1/3)	33.3
	B	0.8	200.0	100*(3/5)	60.0	0.5	125.0	100*(2/5)	40.0
	C	1.0	250.0	100*(3/4)	75.0	0.6	150.0	100*(1/2)	50.0

Fonte: Adaptado de (BRITO, 1987)

2.7 Considerações sobre classificação de documentos cartográficos

Pela análise estatística, é possível avaliar documentos cartográficos e classificá-los observando determinado grau de confiança estabelecido a priori. A classificação decorrente se baseia no Padrão de Exatidão Cartográfica, que traduz a composição de acurácia e precisão do documento avaliado e pode gerar as seguintes situações:

- 1 – carta não acurada e precisa

Posições incoerentes com os dados físicos considerados verdadeiros e coerência interna das feições representadas, ou seja, erro médio maior que o admissível e desvio padrão menor ou igual ao admissível;

- 2 – carta não acurada e imprecisa

Posições incoerentes com os dados físicos considerados verdadeiros e incoerência interna das feições representadas, ou seja, erro médio maior que o admissível e desvio padrão maior que o admissível;

- 3 – carta acurada e imprecisa

Posições coerentes com os dados físicos considerados verdadeiros e incoerência interna das feições representadas, ou seja, erro médio menor que o admissível e desvio padrão maior que o admissível;

- 4 – carta acurada e precisa

Posições coerentes com os dados físicos considerados verdadeiros e coerência interna das feições representadas, ou seja, erro médio menor que o admissível e desvio padrão menor que o admissível.

As cartas com as características apresentadas nos itens 2 e 3 deverão ser desclassificadas, pois no caso 2, a carta não acurada revela falta de coerência nas posições quando comparadas aos valores de campo considerados verdadeiros, enquanto a carta imprecisa, revela falta de coerência interna entre suas feições. No caso 3, a carta apesar de acurada não apresenta coerência entre as feições representadas, e conforme ANDRADE (1991), normalmente admite-se que a imprecisão conduz a falta de acurácia, ainda que a estimativa desta esteja dentro do erro máximo admissível. Assim, uma carta acurada e imprecisa será desclassificada.

As cartas que se enquadram nos itens 1 e 4 devem ser classificadas, pois no caso 1, apesar da falta de acurácia, a carta apresenta precisão quando considerada a coerência entre as feições representadas. Desta forma, esta carta seria classificada no aspecto precisão, porém valendo-se de cautela no seu uso, pois suas feições não apresentam coerência com a realidade física. Assim, em uma eventual articulação com outros trabalhos executados para áreas adjacentes, corre-se o risco de haver disparidades.

A classificação ideal é aquela retratada no item 4 (carta acurada e precisa), pois apresenta posições coerentes tanto entre si quanto com a realidade física.

As situações admissíveis para classificação seriam, portanto:

- carta acurada e precisa;
- carta não acurada e precisa.

O Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984, em seu Capítulo II e Seção 2, estabelece que as cartas são classificadas segundo seu PEC em A, B e C, além de fixar valores de erros permissíveis para cada classe. Desta forma uma carta pode ser classificada conforme descrito a seguir:

cartas acuradas e precisas

- acurada classe A e precisa classe A;
- acurada classe A e precisa classe B;
- acurada classe A e precisa classe C;

- acurada classe B e precisa classe A;
- acurada classe B e precisa classe B;
- acurada classe B e precisa classe C;

- acurada classe C e precisa classe A;
- acurada classe C e precisa classe B;
- acurada classe C e precisa classe C.

cartas não acuradas e precisas

- não acurada e precisa classe A;
- não acurada e precisa classe B;
- não acurada e precisa classe C.

Para a classificação geral, ou seja, análise da qualidade das cartas acuradas e precisas, adota-se o critério de considerar conjuntamente acurácia e precisão, prevalecendo aquela que possuir ordem inferior, evitando assim classificar uma carta inadequadamente pela introdução de incertezas de uma classe inferior (quadro I).

QUADRO I: CLASSIFICAÇÃO GERAL, CONSIDERANDO CLASSES DE ACURÁCIA E PRECISÃO

Acurácia		A	B	C
Precisão	A	Classe A	Classe B	Classe C
	B	Classe B	Classe B	Classe C
	C	Classe C	Classe C	Classe C

Para as cartas não acuradas e precisas a classificação inevitavelmente obedece a classificação em precisão, mesmo porque não existe classificação em acurácia.

O parágrafo único do artigo 10^o do Decreto 89.817 estabelece que as informações da classificação da carta devem constar do rodapé da mesma.

2.8 Aspectos importantes sobre classificação de cartas

O Decreto 89.817 estabelece em seu artigo 8^o que "90% dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica estabelecido", deixando implícito o critério da proporção amostral simples para se alcançar o percentual aceitável estabelecido, o que chama à reflexão sobre alguns aspectos.

Na proporção amostral simples, ao se analisar uma variável discreta como é o caso dos pontos de teste, tem-se dificuldades em tratar com amostras intermediárias. Tomando-se como exemplo uma amostra de 10 pontos, pode-se aceitar 1 deles como não atendendo ao PEC. Da mesma forma, em uma amostra intermediária de 15 pontos tem-se 1,5 pontos não atendendo ao PEC estabelecido, dificultando assim a análise. Além disso, na proporção amostral simples, não se considera a representatividade dos pontos considerados "bons"¹ perante a carta como um todo, o que torna pouco flexível a classificação de um documento cartográfico. Corre-se o risco de analisar a amostra isoladamente, e assim, não classificar ou classificar inadequadamente uma carta quando a amostra tiver um número menor de pontos atendendo ao PEC do que aqueles inicialmente exigidos.

¹ Pontos que apresentam erros inferiores ao Padrão de Exatidão Cartográfica estabelecido pelo decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.

Tomando esta situação BRITO (1987), dá um exemplo e chama atenção para o erro cometido. "Qual a probabilidade de, numa amostra de 10 pontos de teste, ter-se pelo menos 9 deles satisfazendo a determinado PEC, supondo-se a priori, que 90% da população de pontos da carta satisfaz a este PEC ?"

Pela distribuição binomial, dada por:

$$p(S) = \binom{n}{s} \cdot \pi^s \cdot (1-\pi)^{(n-s)} \quad (2.1)$$

onde:

$p(s)$ = probabilidade do evento

n = tamanho da amostra

s = número de casos da amostra

π = probabilidade de sucesso desejada para o evento

$(1-\pi)$ = probabilidade de insucesso para o evento.

Tem-se para o exemplo acima:

$$p(S) = \binom{10}{9} \cdot 0,9^9 \cdot (1-0,9)^{(10-9)} \Rightarrow 39\%$$

$$p(S) = \binom{10}{10} \cdot 0,9^{10} \cdot (1-0,9)^{(10-10)} \Rightarrow 35\%$$

verifica-se que há aproximadamente 74% (39% + 35%) de probabilidade de ocorrência deste evento, ou seja, tem-se a probabilidade de 26% de se tomar pontos que não representem a população que a priori satisfaz ao PEC estabelecido.

Mesmo que os pontos considerados "bons" não representem 90% da amostra, estes poderão representar a população como um todo. Corroborando esta hipótese

BRITO (1987), analisa o critério das proporções de pequenas amostras, que segundo WONNACOTT & WONNACOTT (1980), possibilita determinar uma estimativa intervalar para a proporção populacional π , válida para pequenas amostras e que se baseia na (figura 6)

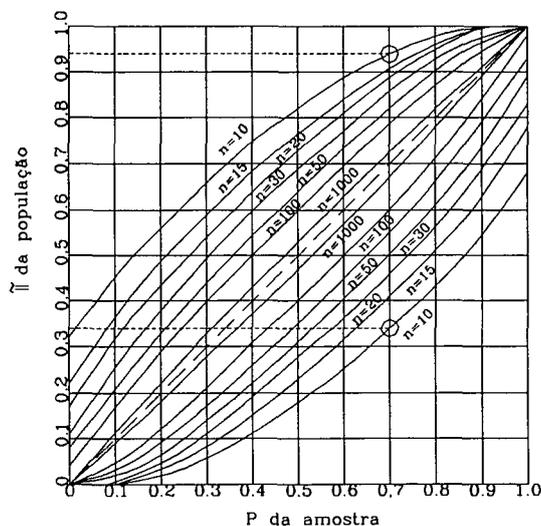


Figura 6: intervalos de 95% de confiança para a proporção da população π .
Fonte: (Wonnacott & Wonnacott, 1980)

Verifica-se que podem ser aceitos 7 pontos como representativos da população, pois para proporção $P = 0,7$ e amostras de tamanho $n = 10$, tem-se um intervalo de $0,34 < \pi < 0,94$ com grau de confiança de 95%, portanto $\pi = 90$ está contido neste intervalo, o que permite classificar a carta e não rejeitá-la como seria feito pelo critério da proporção amostral simples, ou seja, afirma-se com 95% de confiança que, com apenas 7 pontos de uma amostra de 10, é possível representar a carta como um todo com proporção de 90% dos pontos com erro inferior ao PEC estabelecido.

2.8.1 Escolha dos critérios de avaliação

Neste trabalho rejeita-se a proporção amostral simples como critério de avaliação devido a sua rigidez e adota-se critérios estatísticos mais flexíveis e igualmente válidos, portanto, aceitos para o teste de classificação.

Para a análise da acurácia, utilizou-se a estimativa intervalar dada pela distribuição t de *Student*, pois esta é particularmente válida para amostras menores que 30, consideradas pequenas. Consiste em construir um intervalo de confiança de 90% de certeza para a média populacional μ a partir da média amostral \bar{x} e da variância amostral s^2 , conhecidas.

A restrição a esta análise seria para os casos onde a população se apresenta assimétrica, mas segundo BRITO (1987), devido ao caráter acidental dos erros de posicionamento, não há razão para pressupor esta assimetria. Para assegurar esta assertiva, foi aplicado o teste de normalidade proposto por FILLIBEN (1985) e detalhado na seção 3.10.1.

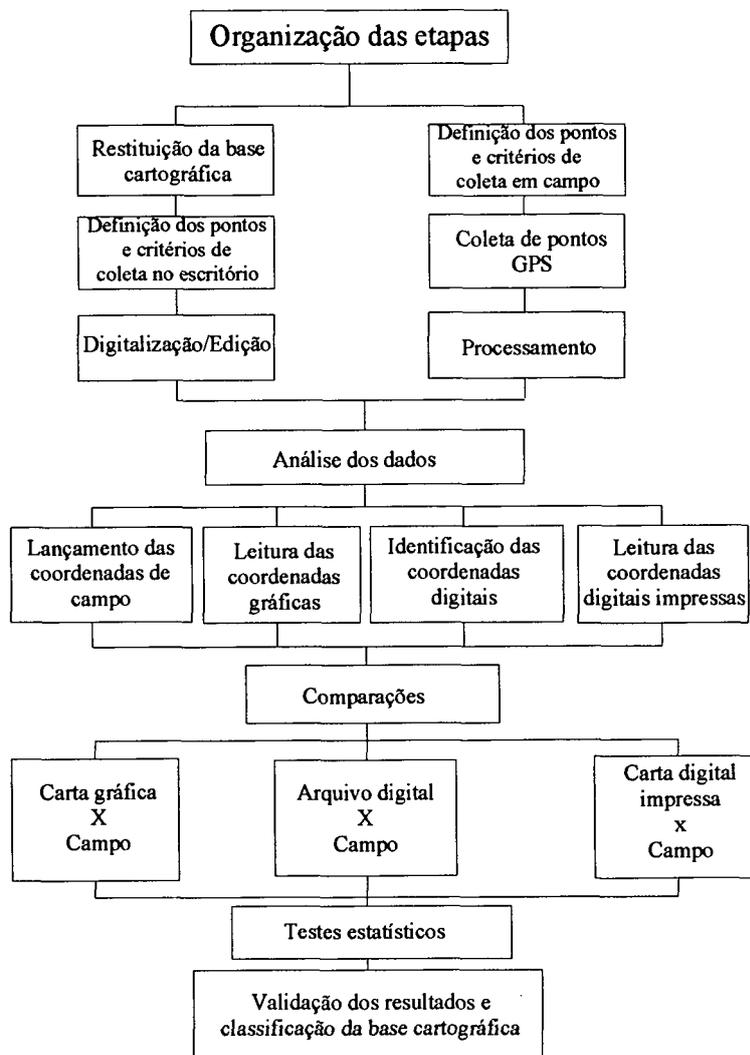
Para analisar a precisão, ou seja, a coerência interna dos elementos da carta, utilizou-se da estimativa intervalar dada pela distribuição Qui-quadrado χ^2 , que consiste em construir um intervalo de confiança de 90% para a variância populacional σ^2 a partir da variância amostral s^2 .

CAPÍTULO III

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Resumo de atividades

O fluxograma a seguir sintetiza em linhas gerais, a organização das etapas operacionais deste trabalho, e tem por objetivo dar uma visão panorâmica da estrutura montada para que se fizesse as comparações e posteriormente a classificação do produto analisado.



3.2 Recursos utilizados

Os recursos abaixo relacionados foram utilizados para coleta de dados, desenvolvimento e conclusão deste trabalho:

- base cartográfica restituída; *
- receptores geodésicos GPS; *
- veículos e técnicos para trabalhos de campo; *
- *software AutoCAD*; *
- *software MATLAB* para processamento dos dados estatísticos; **
- coordenatógrafo de mesa; *
- microcomputador; **
- mesa digitalizadora tamanho A1; **
- dispositivos de saída: *plotter* tamanho A0, impressora colorida; **
- material de consumo (papel, disquetes, tinta para impressora, etc.). **

3.3 Critérios para escolha das cartas gráficas a serem testadas

Neste trabalho consideram-se equivalentes os termos carta e carta gráfica, sendo o último utilizado com o intuito de enfatizar a carta produzida pelo processo cartográfico analógico. O termo arquivo digital é usado para designar o produto obtido pela digitalização e armazenado em meio magnético. Por carta digital impressa é denominado o produto final digitalizado após a impressão em papel, *polyester* ou similar.

Em projetos onde há a necessidade de avaliação de maior quantidade de material cartográfico, ocorre o inconveniente de analisá-los de forma individualizada, sob pena de

* Recursos fornecidos pelo IGA – ** Recursos fornecidos pela UFPR

inviabilizar custos e prazos. Nestes casos, é necessário analisar e testar cartas representativas da área como um todo, e que estas tenham densidade de elementos planimétricos e altimétricos variando de média para densa, quando consideradas dentro do conjunto, pois nestas é que estarão as maiores possibilidades de ocorrência de erros.

Também é importante observar as boas condições de trabalho em campo, evitando assim a escolha de cartas com grande densidade de cobertura vegetal, em áreas alagadas ou pantanosas.

A importância do teste para a área de estudo deve ser considerada. Segundo NOVAES (1971), caso o interesse seja maior na análise altimétrica, deve-se procurar aquelas cartas que apresentem os maiores desníveis, pois existe maior possibilidade de ocorrência de erros, mas se o interesse está voltado para feições planimétricas, procurar-se-á cartas que apresentem maior número de elementos planimétricos identificáveis.

Em projetos que abrangem áreas reduzidas, como a apresentada neste trabalho, há a necessidade de testar o material indistintamente, não havendo portanto a preocupação de selecionar áreas representativas, visto que todo o material será testado.

3.4 Área de estudo

A área de estudo é o Distrito Industrial da cidade de Itaúna, região central do Estado de Minas Gerais (figura 7), obtida por restituição fotogramétrica realizada por técnicos do IGA, utilizando o estéreo-restituidor *Wild B-8S*.

A área de estudo possui 48 km² e está compreendida entre as coordenadas, UTM Leste 530 000 m e 538 000 m e UTM Norte 7 774 000 m e 7780 000 m, referidas ao meridiano central de 45° W. Têm como referência o *datum* horizontal Chuá em Minas

Gerais, baseado no elipsóide de semi-eixo maior $a=6.368.160$ m e achatamento $f=1/298,25$, adotado para a América do Sul como SAD 69 (*South American Datum* 1969). O *datum* vertical está referido ao marégrafo de Imbituba no Estado de Santa Catarina.

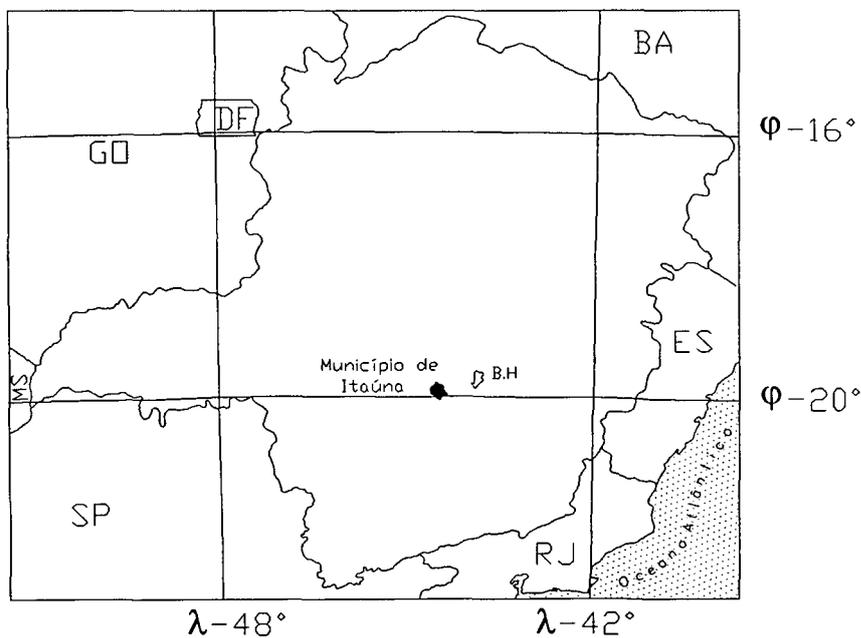


Figura 7: localização da área de estudo

A área de estudo foi restituída na escala 1:10 000 a partir das fotografias 793, 795, 815 e 817 do vôo 0335 em escala original 1:30 000, de propriedade da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

Optou-se por utilizar este produto de restituição fotogramétrica considerando a facilidade proporcionada, uma vez que nesta área já haviam sido coletadas coordenadas dos pontos de campo, em forma de apoio para a restituição utilizando a tecnologia GPS. Soma-se isto, o fato de ser um produto gerado pelo IGA e se prestar como avaliação dos trabalhos ali realizados, conforme abordado anteriormente.

3.5 Critérios para identificação de pontos na carta

Para identificar os pontos na carta e verificá-los em campo, foram escolhidas áreas com pequena densidade de cobertura vegetal e áreas não alagadas ou pantanosas, visando facilitar o trabalho de reconhecimento. Os cruzamentos e bifurcações de estradas, pontos notáveis como casas, construções e pontes, foram considerados importantes planimetricamente, pois facilitam a identificação.

Para escolha dos pontos altimétricos o procedimento foi o mesmo, considerando ainda que estes deveriam estar preferencialmente sobre a curva definidora da superfície altimétrica. A prática mostrou que é difícil identificar pontos notáveis sobre curvas de nível, e a maioria dos pontos altimétricos não atenderam a esta condição.

Para obtenção posterior das altitudes, realizou-se interpolações lineares tomando como base as curvas de nível adjacentes, as quais contêm o intervalo onde o ponto escolhido se encontra. Calculou-se, desta forma, o valor altimétrico procurado para o ponto, possibilitando compará-lo com os dados de campo.

3.6 Número de pontos para o teste

Procurou-se uma distribuição equilibrada dentro da área de estudo para que a análise fosse feita de maneira uniforme (figura 8).

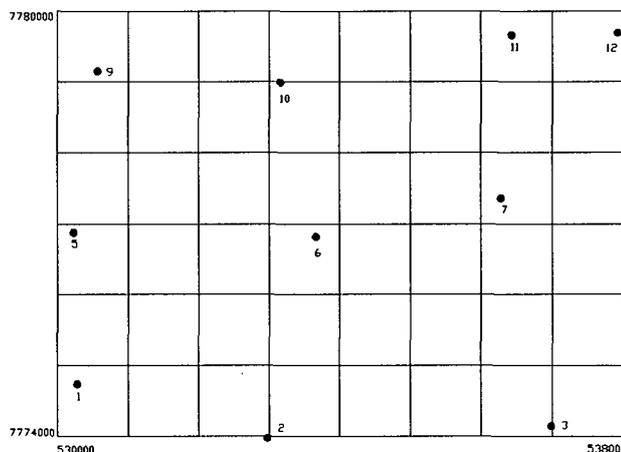


Figura 8: distribuição dos pontos de controle

Em estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), considerou-se o número de pontos para o teste como uma função da rigidez que se deseja executá-lo. Considerou-se também que 10 pontos distribuídos igualmente por carta do mapeamento sistemático é o suficiente para representar o conjunto. Para testes menos rígidos, 2 ou 3 pontos são suficientes para dar uma idéia geral da qualidade da carta (NOVAES, 1971).

Foge ao escopo deste trabalho a discussão de dimensionamento de amostras, mas sugere-se a leitura de BRAGA JUNIOR (1986), onde diversas técnicas de dimensionamento são apresentadas com o intuito de estabelecer um tamanho de amostra que não implique em desperdício de recursos e que ao mesmo tempo seja suficiente para gerar resultados confiáveis.

Neste trabalho ao se estabelecer 10 pontos para a composição da amostra, admitiu-se que esta serve como base para inferências estatísticas sobre o comportamento global dos pontos contidos na área de estudo.

3.7 Coleta dos pontos em campo

Com base em planejamento prévio, foram escolhidos 16 pontos, atendendo aspectos como distribuição uniforme dentro da área de estudo, dentre outros, conforme discutido nas seções 3.5 e 3.6. Deste conjunto, somente 10 pontos foram identificados satisfatoriamente em campo e utilizados nos testes.

Os trabalhos de campo foram realizados por 2 técnicos, equipados com receptores geodésicos GPS, com tempo de observações superior e aproximado de 1 hora de rastreamento sobre cada ponto previamente escolhido.

Utilizou-se o método de posicionamento estático relativo, isto é, com um dos receptores ocupou-se o marco de 1ª ordem denominado Mateus Leme, de coordenadas $\varphi = -19^\circ 56' 43,16500''$, $\lambda = -44^\circ 26' 01,66500''$ pertencente à rede básica horizontal do IBGE, referidas ao SAD-69 e altitude pseudo-ortométrica h de 1271,35 m, obtida por nivelamento trigonométrico e referida ao marégrafo de Imbituba - SC.

Devido as observações GPS estarem vinculadas ao *World Geodetic System - 84* (WGS-84), procedeu-se as transformações das coordenadas de SAD-69 para WGS-84 do marco ocupado obedecendo os parâmetros previstos na Resolução Nº 23, de 21 de fevereiro de 1989 que altera o Apêndice II da Resolução-PR Nº 22 de 21 de julho de 1983 (IBGE, 1996).

Os valores de ondulação geoidal da região foram obtidos por meio do programa denominado MAPGEO v 1.0 do IBGE, que contém dados do mapa geoidal brasileiro, versão 1992.

Com o segundo receptor, ocupou-se a estação que se denominou CM1, distante 27,5 km e em local de melhor acesso, procedendo desta forma o transporte de coordenadas para esta e facilitando o trabalho dos técnicos.

Uma vez conhecidas as coordenadas latitude $\varphi = -20^{\circ} 04' 03,47666''$, longitude $\lambda = -44^{\circ} 39' 49,93137''$ e altitude elipsoidal $H = 770,3915$ m referidas ao WGS-84 da estação CM1, esta foi estabelecida como estação fixa em substituição ao marco Mateus Leme e serviu de base para todas as observações dos 10 pontos de interesse.

As observações de campo foram armazenadas e processadas por técnicos do setor de topografia e geodésia do IGA, sendo posteriormente transformadas para o *datum* planimétrico SAD-69 e altimétrico Imbituba - SC.

Obteve-se desta forma os pontos com coordenadas Norte, Este e altitude pseudo-ortométrica h (tabela 2), utilizando-se dos parâmetros estabelecidos pelo IBGE conforme exposto anteriormente.

TABELA 2: COORDENADAS UTM DOS PONTOS DE CAMPO

Ponto	Norte (m)	Este (m)	Altitude h (m)
1	7774740,745	530279,717	832,167
2	7773974,203	532975,445	788,818
3	7774149,247	536983,298	958,676
5	7776882,576	530224,862	798,708
6	7776825,143	533664,795	781,889
7	7777364,819	536280,413	819,732
9	7779144,736	530564,997	854,647
10	7778984,059	533161,493	755,775
11	7779655,184	536430,535	773,263
12	7779689,011	537916,181	818,497

3.8 Obtenção de coordenadas na carta gráfica e carta digital impressa

Para se proceder uma leitura ao décimo de milímetro, é necessário que o desenhista, ao executar o seu trabalho trace com firmeza e com este grau de precisão, e que as marcas para a leitura sejam as mais definidas quanto possível, possibilitando assim que o leitor tenha uma precisão comparável a do desenhista - o que é bastante difícil, pois aí estão embutidas as características de cada um, ou seja, o erro humano.

Para OLIVEIRA (1983), erro gráfico é o "erro introduzido durante a fase de desenho (ou de gravação), definido pelo desvio entre a posição teórica de um elemento gráfico e o seu traçado", em média admitido como 1/10 de milímetro e independe da escala do mapa.

Para BERTIN (1983), um desenhista habilidoso pode efetuar um traçado de precisão 1/10 do milímetro, porém a precisão de leitura do observador é bastante variável, ficando a 1/2 do milímetro em média.

Na composição dos erros também deve ser considerada a calibração dos instrumentos utilizados para leitura e a estabilidade do material base do desenho. São os chamados erros gráficos técnicos.

As leituras das coordenadas planimétricas N,E e altimétricas h efetuadas sobre a carta gráfica e sobre a carta digital impressa, foram realizadas com a utilização de um coordenatógrafo de mesa tamanho A-0 de fabricação *Wild*. Consiste de uma mesa de superfície estável de vidro com sistema regulável dos pés, que permite o nivelamento adequado da sua base e possui um sistema mecânico composto de 2 manivelas. Estas, quando acionadas, movimentam sobre a superfície um suporte metálico na direção das abcissas, e encaixado sobre ele, movimenta-se um sistema de apontamento conhecido

como "ponta seca" na direção das ordenadas. Este sistema permite posicionar com exatidão sobre o ponto que se deseja executar a leitura.

Procedeu-se a fixação da carta gráfica sobre a base de vidro e em seguida a coleta das distâncias relativas às coordenadas N, E e h. Para as leituras das distâncias em N e E, tomou-se como origem o canto inferior esquerdo da carta gráfica e a partir dele todas as distâncias foram lidas, isto é, todas se referem ao ponto origem.

Evita-se desta forma o acúmulo de erros que eventualmente poderiam ser introduzidos caso se tomasse leituras baseadas na divisão de quadriculas (figura 9).

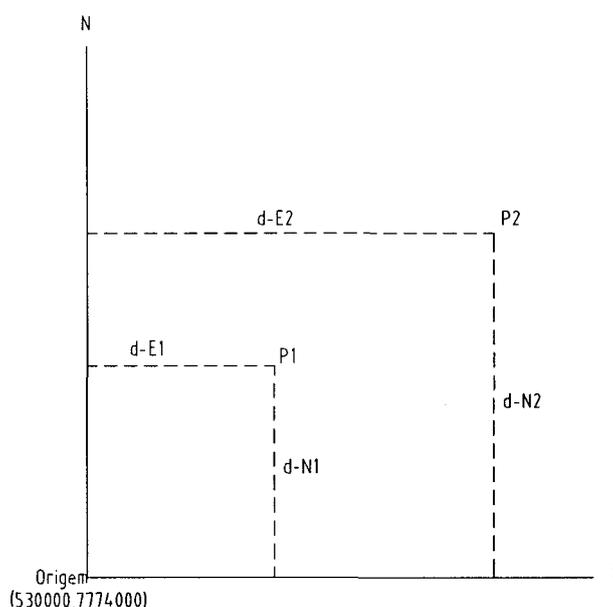


Figura 9: origem das leituras com o coordenatógrafo

As leituras foram feitas observando-se um pequeno tambor graduado que permite leituras diretas de 2 centésimos de milímetro (0,02 mm). Para a escala utilizada neste trabalho (1:10 000), isto representa uma possibilidade de erro de 0,2 m, que é bastante inferior ao erro máximo total permitido para a melhor classificação nesta escala.

3.8.1 Obtenção das coordenadas planimétricas

Em planimetria foram feitas 3 leituras para cada ponto. Estas leituras forneceram medidas no plano topográfico e foram corrigidas pelo fator de deformação linear no meridiano central $K_0 = 0,9996$, podendo desta forma serem analisadas no sistema de projeção UTM ao qual está vinculada a carta gráfica.

Aplicado o fator de escala e feita a soma das medidas corrigidas às coordenadas de origem, obteve-se as coordenadas Este e Norte. As médias destas geraram as coordenadas dos pontos de controle no sistema de projeção UTM (tabela 3).

TABELA 3: LEITURAS PLANIMÉTRICAS SOBRE OS PONTOS DE CONTROLE
(ORIGEM E = 530 000 m, N = 7 774 000 m)

Ponto	Leit. E (mm)	Leit. N (mm)	Corrigida E (mm)	Corrigida N (mm)	E (m)	N (m)	Média E (m)	Média N (m)
1	28,20	74,00	28,19	73,97	530281,89	7774739,70	530281,79	7774740,44
	28,19	74,16	28,18	74,13	530281,79	7774741,30		
	28,18	74,06	28,17	74,03	530281,69	7774740,30		
2	299,14	-0,92	299,02	-0,92	532990,20	7773990,80	532991,20	7773990,20
	299,31	-1,02	299,19	-1,02	532991,90	7773989,80		
	299,27	-1,00	299,15	-1,00	532991,50	7773990,00		
3	698,42	14,67	698,14	14,66	536981,41	7774146,64	536981,17	7774146,77
	698,33	14,75	698,05	14,74	536980,51	7774147,44		
	698,44	14,63	698,16	14,62	536981,61	7774146,24		
5	25,11	288,25	25,10	288,13	530251,00	7776881,35	530250,63	7776881,68
	25,11	288,37	25,10	288,25	530251,00	7776882,55		
	25,00	288,23	24,99	288,11	530249,90	7776881,15		
6	368,19	282,21	368,04	282,10	533680,43	7776820,97	533681,23	7776821,10
	368,36	282,22	368,21	282,11	533682,13	7776821,07		
	368,26	282,24	368,11	282,13	533681,13	7776821,27		
7	629,18	336,66	628,93	336,53	536289,28	7777365,25	536288,28	7777366,02
	629,00	336,83	628,75	336,70	536287,48	7777366,95		
	629,06	336,72	628,81	336,59	536288,08	7777365,85		
9	57,51	515,04	57,49	514,83	530574,87	7779148,34	530574,80	7779148,96
	57,40	515,06	57,38	514,85	530573,77	7779148,54		
	57,60	515,00	57,58	514,79	530575,77	7779150,00		
10	315,66	498,90	315,53	498,70	533155,34	7778987,00	533155,34	7778987,14
	315,66	498,90	315,53	498,70	533155,34	7778987,00		
	315,66	498,94	315,53	498,74	533155,34	7778987,40		
11	642,65	565,93	642,39	565,70	536423,93	7779657,04	536423,93	7779658,07
	642,59	566,01	642,33	565,78	536423,33	7779657,84		
	642,71	566,16	642,45	565,93	536424,53	7779659,34		
12	792,58	569,39	792,26	569,16	537922,63	7779691,62	537922,36	7779690,89
	792,46	569,26	792,14	569,03	537921,43	7779690,32		
	792,62	569,30	792,30	569,07	537923,03	7779690,72		

Tomou-se o cuidado de não executar leituras contínuas sobre um mesmo ponto, evitando desta forma leituras tendenciosas e garantindo a independência entre elas.

3.8.2 Obtenção das coordenadas altimétricas

Para a altimetria um procedimento análogo foi seguido, mas devido a localização dos pontos de controle fora da superfície definidora da curva de nível, exceto o ponto 3, foram feitas interpolações lineares para que se chegasse a altitude h do ponto desejado.

No processo de interpolação é preciso conhecer a distância entre as curvas que contém o ponto e a distância de uma das curvas até o ponto, portanto para cada ponto foram feitas 9 medidas, ou seja, 3 séries de 3 medidas que são:

- $d_1 \Rightarrow$ distância da origem à 1ª curva
- $d_2 \Rightarrow$ distância da origem ao ponto considerado
- $d_3 \Rightarrow$ distância da origem à 2ª curva.

Tem-se desta forma a distância entre as curvas pela subtração dos valores de $d_3 - d_1$ e a distância d_2 até o ponto considerado (figura 10), permitindo executar a interpolação e calcular o valor altimétrico desejado.

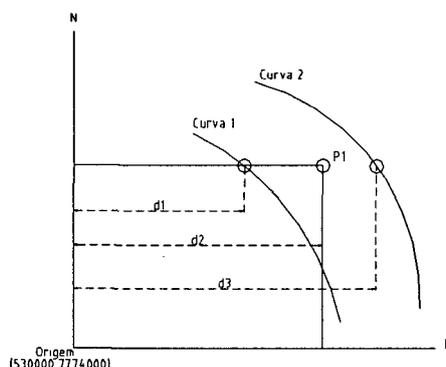


Figura 10: distâncias para interpolação de altitudes

As distâncias d_1 , d_2 e d_3 , lidas da origem até as curvas foram tomadas em alinhamentos paralelos aos eixos N e E, e corrigidas pelo fator K_0 , conforme descrito na seção 3.8.1, garantindo a uniformidade de procedimentos.

Para os cálculos da interpolação foi utilizada a planilha de cálculos *Excel*, que apresentou os resultados, conforme tabela 4 a seguir:

TABELA 4: LEITURAS PARA DETERMINAÇÃO DE ALTITUDES h INTERPOLADAS

Alt. h curva 1	Ponto	Leitura corrigida curva 1 (mm)	Leitura corrigida curva 2 (mm)	Distância corrigida curva1/curva2 (mm)	Distância corrigida origem/ponto (mm)	Distância curva1/ponto (mm)	Alt. h interpol.	Alt. h média interpol.
830,00	1	24,07	30,46	6,39	28,19	4,12	833,22	833,09
		24,37	30,71	6,34	28,18	3,81	833,01	
		24,29	30,67	6,38	28,17	3,88	833,04	
790,00	2	296,79	304,54	7,75	299,02	2,23	791,44	791,43
		297,00	304,48	7,48	299,19	2,19	791,46	
		297,03	304,66	7,63	299,15	2,12	791,39	
950,00	3				698,14		950,00	950,00
					698,05		950,00	
					698,16		950,00	
800,00	5	22,65	30,13	7,48	25,10	2,45	798,36	798,42
		22,58	30,13	7,55	25,10	2,52	798,33	
		22,95	30,12	7,17	24,99	2,04	798,58	
785,00	6	364,81	372,31	7,50	368,04	3,23	782,85	782,81
		364,91	372,13	7,22	368,21	3,30	782,72	
		365,00	372,26	7,26	368,11	3,11	782,86	
820,00	7			26,99 (*)		0,11 (*)	820,02	820,02
840,00	9			59,98 (*)		48,78 (*)	840,93	844,06
760,00	10	311,80	328,73	16,93	315,53	3,73	758,90	759,08
		312,94	328,63	15,68	315,53	2,59	759,18	
		312,88	328,64	15,75	315,53	2,65	759,16	
775,00	11	641,42	649,74	8,32	642,39	0,97	775,58	775,48
		641,76	649,68	7,92	642,33	0,57	775,36	
		641,63	649,67	8,04	642,45	0,82	775,51	
820,00	12	565,36	576,91	11,55	569,16	3,80	818,36	818,41
		565,45	577,07	11,62	569,03	3,58	818,46	
		565,51	576,77	11,26	569,07	3,56	818,42	

(*) – Leituras diretas

3.9 O processo de digitalização da área de estudo

Para a digitalização foi utilizada uma mesa digitalizadora *Digigraph*, tamanho A1, com resolução de 0,025 mm e precisão de +/- 0,25 mm acoplada a um micro computador *pentium* 90 Mhz, 32 Mb de memória RAM e 1 Gb de disco rígido. O *software* utilizado foi o *AutoCAD-R13C4*, série 117-10316190, de propriedade do IGA.

Apesar do enfoque deste trabalho estar direcionado à qualidade no aspecto posicional das feições da base cartográfica, procedimentos foram seguidos na digitalização para que o produto digital não se tornasse apenas uma cópia do original analógico, podendo assim dificultar a manipulação dos elementos nela contidos por outros aplicativos computacionais, especialmente os Sistemas de Informações Geográficas.

Segundo VIANNA *et al.* (1997), a viabilidade dos custos da conversão para o meio digital está relacionada com a utilização do produto digital não apenas para uma determinada aplicação, pois uma base cartográfica digital deve ser vista de forma mais ampla, não limitando sua utilização à produção de cartas impressas.

Trata-se de uma discussão complexa e certamente passa por uma revisão de toda a norma já estabelecida e usada para representação analógica tradicional. Questões como a aplicabilidade, reestruturação e criação de novas normas para o meio digital, que contemplem as peculiaridades e necessidades da representação digital são discutidas em órgãos como o CEN, ISO e CONCAR, dentre outros.

Observando os princípios em que as simbologias são expressas pelas componentes cor, espessura, tipos de linha e elementos textuais, procedeu-se a

digitalização, fazendo a identificação destes elementos no momento da aquisição de cada feição.

Cuidados adicionais foram tomados permitindo assim uma sintonia entre o armazenado e o representado, isto é, a recuperação da informação armazenada deve ser equivalente a informação visualizada sobre papel ou tela.

3.9.1 Altimetria

Para as curvas de nível, que geralmente na base analógica sofrem interrupções para colagem da informação textual informando sua altitude ou cota, procedimentos foram tomados na digitalização para que estas não perdessem a sua continuidade pela inserção do elemento textual. Utilizou-se o recurso de texto "máscara" oferecido pelo *software AutoCAD*, que permite a colocação do elemento textual sem interrupção da curva de nível no arquivo digital, apesar desta se apresentar visualmente interrompida (figura 11).

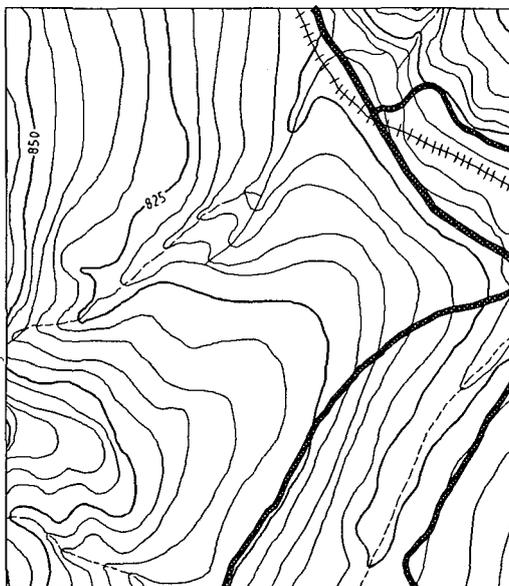


Figura 11: digitalização de curvas de nível

3.9.2 Malha viária

Os caminhos foram digitalizados com polilinhas simples e diferenciadas pelo estilo tracejado. Nas rodovias e estradas foram utilizadas polilinhas com largura determinada e traçado sólido (opção *solid fill do software AutoCAD*). Julgou-se esta como a melhor opção, pois permite criar a representação de linhas duplas considerando-as como feição única com vértices coincidentes no eixo. Evita-se desta forma traços paralelos considerados como feições distintas (figura 12-a).

O uso de polilinhas sólidas com largura determinada foi considerado eficiente sob o ponto de vista da apresentação visual, pois não provoca sensação de representação indevida pelo aspecto segmentado. Permite ainda representar bifurcações e cruzamentos sem interrupção da polilinha no arquivo digital, além de não gerar arquivos maiores (figura 12-b).

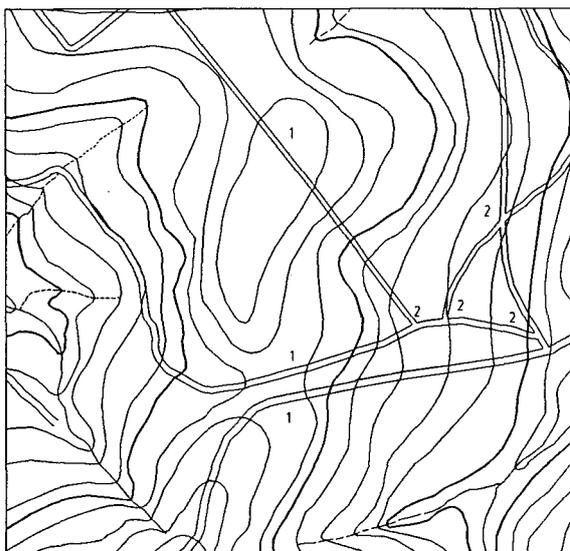


Figura 12-a: malha viária

- 1 – Polilinhas independentes
- 2 – Interrupção em cruzamentos e bifurcações

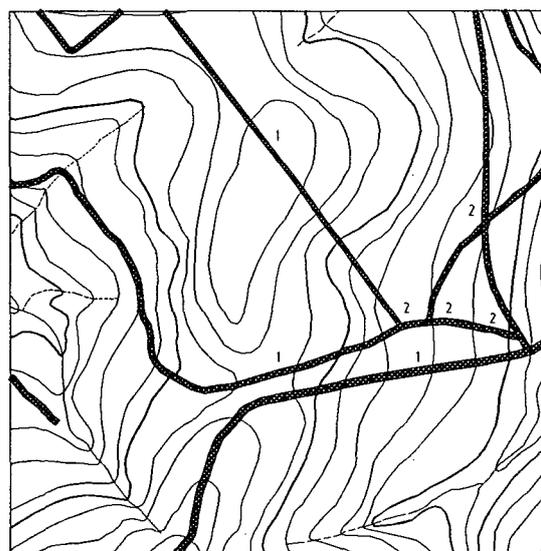


Figura 12-b: malha viária

- 1 – Polilinha única
- 2 – Continuidade em cruzamentos e bifurcações

Nos locais onde as interseções formam os "trevos", optou-se por representá-los como na carta gráfica, devido a dificuldade de se tratar o segmento 2 destacado (figura 13), como parte integrante de qualquer um dos segmentos representativos da rodovia.

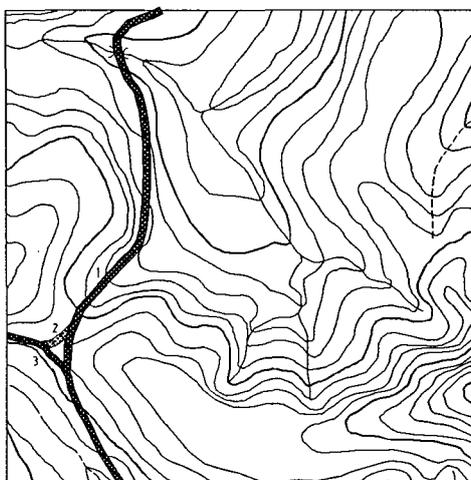


Figura 13: representação de trevos na malha viária
1 – Primeiro segmento 2 – Segundo segmento 3 – Terceiro segmento

Nos locais onde houve a necessidade de representação distinta numa mesma feição, trabalhou-se com diferenciação por espessura de traço, devido a limitação de se representar tipos diferentes de linhas em uma mesma feição linear (figura 14), sem que houvesse interrupção. Procedimento idêntico à rotulação de curvas de nível poderia ser utilizado, caso houvesse representação de rodovias federais ou estaduais.

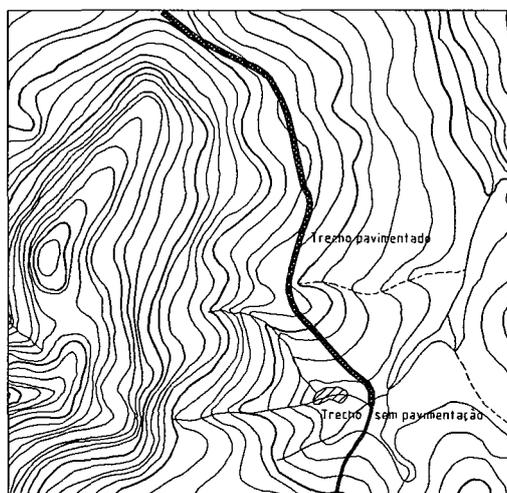


Figura 14: traçado diferenciado na mesma feição

3.9.3 Drenagem

Como nos demais casos, a drenagem foi digitalizada pelo método ponto a ponto, onde o operador tem a liberdade de escolher os pontos que melhor definem a feição. Foram também observados itens como armazenamento em "*layer*" distinto, cor e estilo de traçado.

Observa-se que cada afluente, apesar de conectado, é tratado como feição independente devido a limitação de tratá-los como uma rede de drenagem no sistema CAD. Um eventual tratamento destas feições como rede, poderia ser processado após a sua introdução em um SIG.

Nos pontos de interseção com o sistema viário optou-se por não fazer interrupção dos cursos d'água, mesmo em locais onde há simbologia de pontes e bueiros. Pretendeu-se com isso os mesmos benefícios apontados pela não interrupção do sistema viário e das curvas de nível. Nestes pontos de interseção utilizou-se o recurso denominado *display order* - ferramenta do *AutoCAD 14* - que permite ordenar a apresentação de feições e definir sua prioridade sobre outras, independentemente da ordem em que foi adquirida (figura 15).



Figura 15: digitalização de drenagens

Para conexão exata dos afluentes ao leito principal, utilizou-se as ferramentas de proximidade *snaps* disponíveis no *software AutoCAD*, poupando desta forma o trabalho de edição e conseqüentemente aumento de produtividade.

Cursos d'água intermitentes foram representados por polilinhas tracejadas e escalamento do traço compatível com a apresentação, enquanto locais sujeitos à inundação, barragens e represas foram representados como elementos de área e preenchidos com padrões de hachuras pré-definidas e pelo recurso de hachura associativa, ou seja, os padrões inicialmente escolhidos automaticamente se moldam ao novo contorno, quando há qualquer alteração no polígono.

3.9.4 Outras feições lineares

Ferrovia e cerca são exemplos de polilinhas com características próprias, ou seja, para a ferrovia tem-se a feição linear com pequenas linhas interceptando-a transversalmente, representando os dormentes, enquanto a cerca possui um x característico em intervalos regulares sobre a feição linear e que representa cerca de arame, conforme convencionado.

Contornando o inconveniente de se posicionar transversalmente cada um dos inúmeros segmentos representativos dos dormentes à polilinha que direciona o alinhamento da ferrovia (figura 16-a), o *AutoCAD* em seus diversos tipos de linhas disponibiliza a linha denominada *tracks* que representa a feição ferrovia, facilitando sobremaneira a representação e permitindo que cada dormente seja parte integrante da polilinha traçada, e não segmentos independentes, como ocorreria num traçado convencional.

A opção de se usar *tracks* gera inconvenientes como a não uniformidade dos traços que representam os dormentes, pois estes são posicionados pelo *software*, conforme a escala que se estabelece. Isto ocorre principalmente nas regiões que apresentam curvas sinuosas e o operador necessita digitalizar um número maior de pontos para melhor definir a curva.

Este inconveniente para a análise visual perde a sua importância quando se constata que há possibilidade de representar a ferrovia como feição única (figura 16-b), facilitando portanto o seu tratamento em um SIG por exemplo.

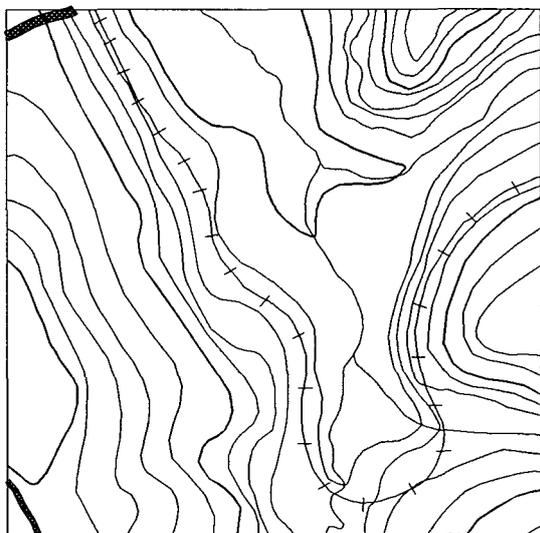


Figura 16-a: traçado convencional de ferrovia
- simbologia de dormentes mais uniforme
- feições distintas (alinhamento e dormentes)

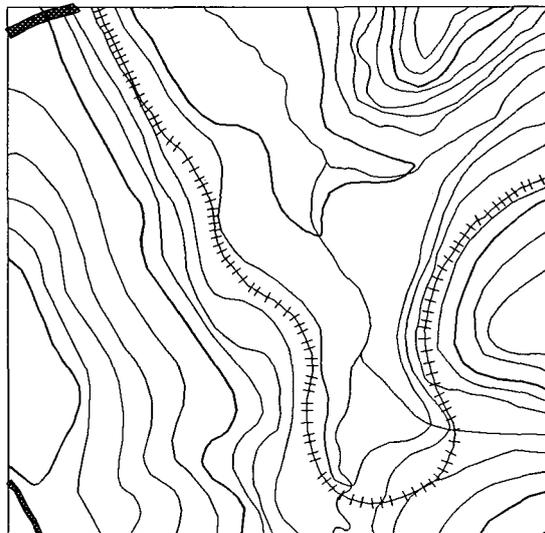


Figura 16-b: traçado especial de ferrovia
- simbologia menos uniforme
- feição única

Para representar a feição "cerca", o *AutoCAD* não disponibiliza uma linha pré-definida como no caso da ferrovia, sendo necessário a criação de uma linha complexa

que permita representar esta feição linear como elemento único e contínuo (figura 17).

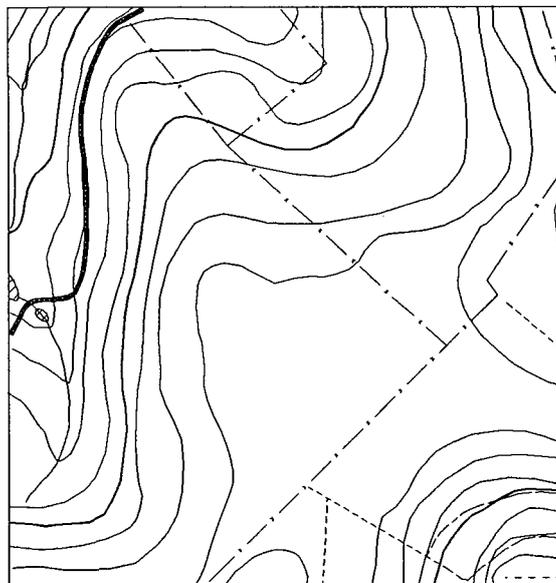


Figura 17: traçado de cercas

Evita-se desta forma a sobreposição de uma simbologia auxiliar do tipo x sobre a polilinha traçada.

O processo de criação de linhas complexas no *AutoCAD* consiste em ordenar uma série de instruções de forma lógica e armazená-las como parte integrante do arquivo *acad.lin*, facilitando assim a sua recuperação por meio de ferramentas próprias para o traçado que se deseja executar.

Esquema da criação da linha representativa da feição cerca:

*CERCA_LINE, Cerca line ----x----x----x----x----x---- (1ª linha)

A,50,-20,["x", Standard, S=10, R=0.0, = X=-10,Y=-3],-10 (2ª linha)

1ª linha:

descreve o tipo de linha e sua aparência. A descrição pode ser um comentário ou uma série de grifos, traços, espaços ou caracteres que demonstrem de forma clara a representação da feição que se deseja criar.

2ª linha:

A = alinhamento padrão usado nas extremidades dos segmentos de reta, círculos e arcos individuais. O usuário garante assim que o *AutoCAD* interprete os segmentos de reta e arcos começando e terminando com traço.

Os valores positivos especificam o comprimento do traço, os negativos indicam o comprimento dos espaços e o 0 (zero) representa um ponto. A separação entre eles deve ser feita pela colocação de vírgulas.

A expressão entre colchetes está assim ordenada:

"x" = caracter texto que compõe a feição linear "arame farpado";

Standard = estilo do caracter texto;

S = escala – controla as dimensões do caracter texto;

R = rotação – controla a rotação do caracter texto;

X = deslocamento – controla o deslocamento do caracter texto no eixo X;

Y = deslocamento – controla o deslocamento do caracter texto no eixo Y;

valores negativos e positivos em X e Y indicam respectivamente, deslocamentos abaixo e acima do alinhamento.

3.9.5 Elementos textuais

Optou-se por adotar o estilo padrão, pois trata-se de fonte simples, contribuindo assim para a não sobrecarga do arquivo digital.

Os elementos textuais em algumas situações necessitam acompanhar determinadas feições, como a hidrografia por exemplo, mas para evitar a individualização

das letras componentes do texto, caso se optasse pela rigidez no posicionamento, decidiu-se por posicioná-lo o mais aproximadamente possível acompanhando a feição. Nem sempre isto proporcionou o aspecto visual desejado na representação, mas garantiu a integridade do texto.

3.9.6 Elementos de área

Elementos de área foram digitalizados como formas poligonais fechadas, facilitando eventuais cálculos de área. Porém, alguns como reflorestamento de eucaliptos, matas, macegas e culturas, têm na sua construção uma simbologia diferenciada pelo tipo de polilinha que as define. Trata-se de uma convenção estabelecida na construção da carta gráfica e reconhecida como simbologia representativa de áreas de vegetação.

A transposição desta representação para o meio digital necessita de um tratamento diferenciado, pois se a polilinha que define o polígono for construída seguindo as reentrâncias (figura 18-a), como definidas no desenho original, isto acarretará em cálculo indevido de área para este polígono, pois esta será função da trajetória do traçado.

Conforme demonstrado a seguir (figuras 18-a e 18-b), os polígonos têm as mesmas medidas e áreas diferentes devido a sua forma de construção. Como exemplo, toma-se um polígono regular de dimensões 100 m x 100 m. Na figura 18-b, o polígono foi construído usando polilinhas sem considerar a simbologia adotada na carta gráfica; na figura 18-a, o traçado também se fez com polilinhas, porém considerando a simbologia contida na carta gráfica. Pelo cálculo, conclui-se que seria problemático simplesmente

adotar a simbologia contida no original, pois esta traria divergências no cálculo da área e desta forma conduziria a informações incorretas.

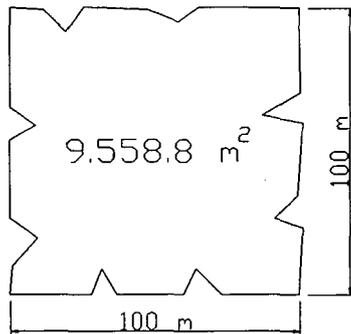


Figura 18-a:

polígono com traçado convencional e simbologia

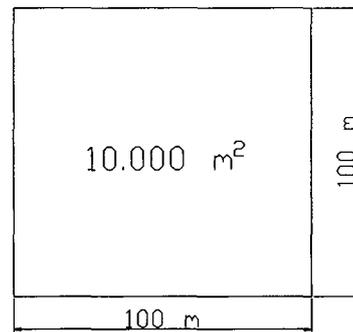


Figura 18-b:

polígono com traçado convencional sem simbologia

Para que se pudesse representar devidamente o polígono sem omissão da simbologia, usou-se o recurso de criação de linhas complexas. Desta forma, pode-se representar o polígono nas suas dimensões utilizando a simbologia adequada para esta situação particular.

Ganha-se com isso fidelidade na apresentação visual, pois segue a simbologia adotada no original, sem significar perda da informação quando calculadas as áreas, que apesar de visualmente apresentar reentrâncias, não são consideradas no cálculo de área, pois são parte integrante da linha criada e somente compõem a simbologia.

A figura 19, demonstra o mesmo polígono regular criado com a linha complexa. Nesta, a aparência permanece conforme a representação da carta gráfica, além de manter fidelidade à área calculada.

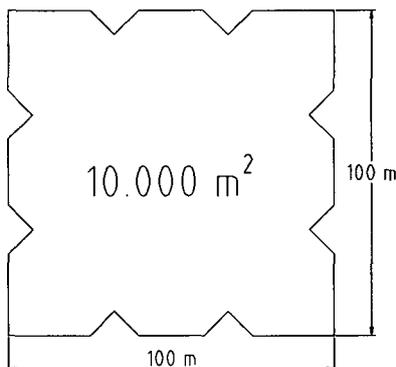


Figura 19: polígono com traçado especial e simbologia

A criação da linha complexa para a representação dos tipos de vegetação obedece as mesmas rotinas demonstradas anteriormente na criação de linhas representativas de cercas e tem a seguinte forma:

*Veget_line, Veget line ----<----<----<----<----<----<---

A,20,-15,["^",STANDARD,S=50,R=180.0,X=7.5,Y=+60],0

onde:

"^" = caracter texto que compõe a feição linear "vegetação";

Standard = estilo do caracter texto;

S = escala – controla as dimensões do caracter texto;

R = rotação – controla a rotação do caracter texto;

X = deslocamento – controla o deslocamento do caracter texto no eixo X;

Y = deslocamento – controla o deslocamento do caracter texto no eixo Y;

valores negativos e positivos em X e Y indicam respectivamente, deslocamentos abaixo e acima do alinhamento.

Além destes aspectos, deve-se ainda considerar que na realidade física os polígonos geralmente não se apresentam regulares e muitas vezes não estão isolados de

forma a permitir sua construção com uma polilinha única, onde o ponto final seja coincidente com o ponto inicial, permitindo assim o cálculo de área.

No terreno, os polígonos tomam contornos com geometria irregular e quando não estão isolados, trazem uma relação de vizinhança, onde surgem feições comuns entre os elementos representados. Tem-se pois, que uma área de vegetação pode ser formada por uma série de componentes lineares pertencentes a feições e *layers* distintos. Ocorre neste tipo de construção poligonal a impossibilidade do cálculo de área, pois não é gerado um polígono único em que se possa executar esta operação. (figura 20)

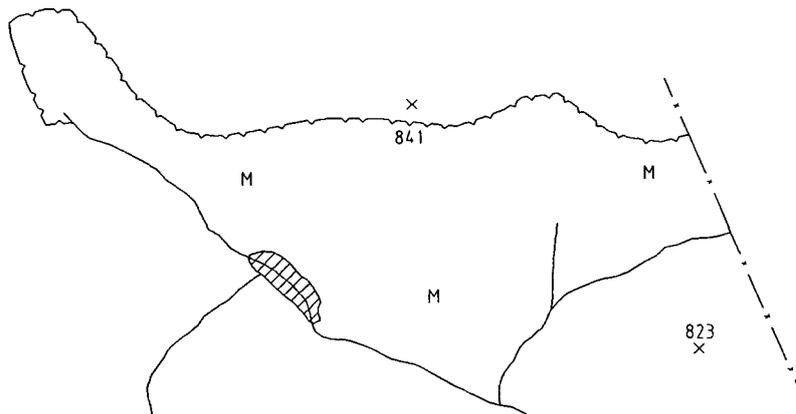


Figura 20: polígono irregular - limites comuns e feições lineares distintas

Um recurso bastante utilizado para cálculos aproximados onde não se requeira precisão rigorosa, é traçar um polígono auxiliar seguindo aproximadamente as feições que o delimitam. Porém neste tipo de operação, por maior que seja a habilidade do operador, ele dificilmente conseguirá um traçado coincidente com o traçado delimitador do polígono, seja ele um córrego, uma cerca ou um caminho. Gera-se desta forma um polígono que auxilia no cálculo mas que poderá não possuir nenhum significado, quando interpretado por outro aplicativo computacional.

A solução adotada neste trabalho para estas ocorrências, consiste na utilização do recurso *boundary poly* disponível no *AutoCAD*, que executa uma varredura pelas feições lineares que compõe a área a partir de um ponto interno definido pelo usuário.

As linhas que delimitam o polígono são identificadas automaticamente, e a partir delas é gerada uma feição linear fechada que terá as características definidas pelo usuário e será armazenada no *layer* corrente predeterminado.

Pode-se assim, executar o cálculo de área partindo do polígono criado (figura 21), que segue exatamente os contornos das feições lineares comuns que o definem, sejam elas cercas, rios ou outra qualquer.

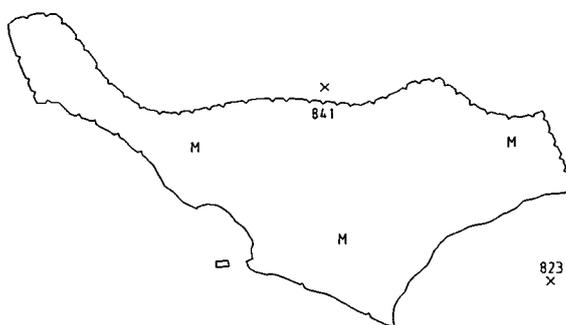


Figura 21: feição poligonizada – traçado único

3.9.7 O processo de edição

Na fase final foi feita uma revisão rigorosa, onde foram corrigidos erros cometidos tais como, quebra de objetos, polígonos abertos, textos e símbolos em posição inadequada, omissão de entidades, grafia incorreta, curvas de nível que se cruzam, além de definir prioridades na visualização e disposição das entidades em níveis próprios.

Nesta fase também foram criadas e editadas linhas complexas, criados polígonos fechados com o recurso *boundary poly*, detalhado na seção 3.9.6, rotuladas e atribuídas

as altitudes h às curvas de nível traçadas e, finalmente, a confecção da legenda contendo os dados informativos sobre a carta e logotipo da instituição produtora.

3.10 Descrição dos testes de cartas

Os testes de cartas consistem em confrontar coordenadas planimétricas N , E e altimétricas h e a partir de parâmetros de precisão e acurácia pré-estabelecidos, verificar sua qualidade dentro de determinado grau de confiança, podendo desta forma classificá-las de acordo com o que estabelece o Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.

Neste trabalho, adota-se como objeto de análise os erros da resultante entre as discrepâncias planimétricas das componentes Norte e Este, apuradas e descritas nos 3 testes seguintes.

A opção em se trabalhar com a resultante denota a preocupação em fazer uma análise que contemple a qualidade, aqui entendida como uma combinação de acurácia e precisão, diferentemente do exposto por GALO & CAMARGO (1994), onde se analisa os erros nas componentes e possibilita apenas a detecção da presença de erros sistemáticos e não uma análise segura da qualidade.

Para altimetria, avaliam-se os erros em valores absolutos apurados entre as componentes h , também descritas nos testes. Os erros são tratados como valores absolutos, pois o que se deseja é quantificá-los e não identificar em que sentido eles ocorrem.

Foram executados três testes, conforme descrito a seguir:

1) Carta gráfica x campo

Confrontação dos valores obtidos da leitura das coordenadas planas e altimétricas da carta gráfica, com seus correspondentes obtidos por levantamentos de precisão compatível com a escala de trabalho, executados em campo por métodos topográficos e/ou geodésicos convencionais ou com utilização da tecnologia GPS, conforme executado neste trabalho.

Nesta etapa é possível classificar a carta gráfica, pois serão qualificados os erros cometidos no processo de restituição e compilação - no caso de levantamentos fotogramétricos - e os erros cometidos no processo de desenho convencional, no caso de levantamentos diretos.

2) Arquivo digital x campo

Confrontação dos valores obtidos das coordenadas do arquivo digital, com seus correspondentes obtidos por levantamentos de precisão compatível com a escala de trabalho, executados em campo por métodos topográficos e/ou geodésicos convencionais ou com utilização da tecnologia GPS, conforme exposto no teste 1.

Nesta etapa é possível verificar o PEC do arquivo digital, pois serão qualificados os erros cometidos no processo de captura de dados por meio da digitalização, além daqueles oriundos da carta gráfica de origem.

Neste teste não foi possível capturar diretamente a componente altimétrica h do arquivo digital, pois não foi gerado um modelo digital do terreno que permitisse obtê-la independentemente de estar sobre a superfície definidora da curva de nível.

O procedimento adotado foi análogo ao descrito para obtenção de altitudes h da carta gráfica da seção 3.8.2, onde se utilizou de um coordenatógrafo de mesa para

efetuar as leituras. A distinção neste caso se dá apenas pela substituição das 3 séries de 3 medidas feitas no coordenatógrafo por duas séries de medidas únicas ($d-4$ = distância entre curvas e $d-5$ = distância da curva 1 ao ponto observado), obtidas por meio de ferramenta própria, disponível no *autoCAD* (figura 22).

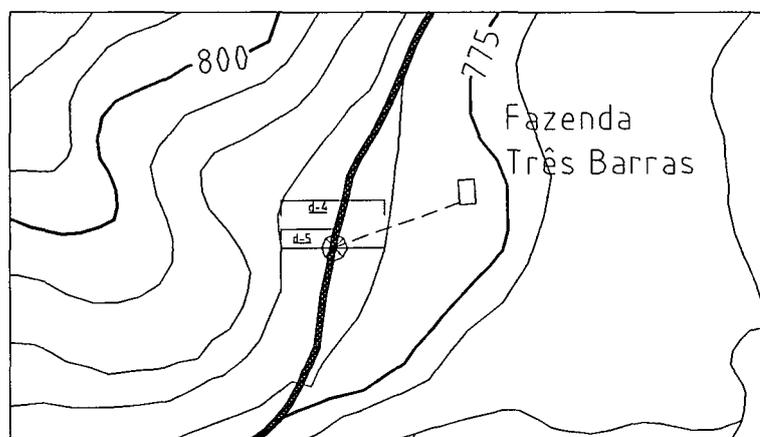


Figura 22: distâncias tomadas no arquivo digital

As distâncias entre as curvas e entre a curva 1 e o ponto considerado, foram corrigidas pelo fator K_0 e são demonstradas a seguir, assim como a altitude h interpolada (tabela 5).

TABELA 5: CÁLCULO DA ALTITUDE h INTERPOLADA NO ARQUIVO DIGITAL

Altitude h curva 1 (m)	Eqd. (m)	Ponto	Dist. corrigida entre curvas (m)	Dist. corrigida curva 1 ao ponto (m)	Altitude h interpolada do ponto (m)
830,00	5	1	78,79	58,20	833,69
790,00	5	2	78,10	22,40	791,43
950,00	5	3			950,00 (*)
800,00	5	5	65,81	23,16	801,76
785,00	5	6	79,30	40,70	782,43
820,00	5	7	267,06	16,02	820,30
840,00	5	9	602,76	481,81	844,00
755,00	5	10	166,27	137,61	759,14
775,00	5	11	83,15	19,64	776,18
815,00	5	12	125,47	85,37	818,40

(*) Ponto sobre a curva de nível

3) Carta digital impressa x campo

Teste dos pontos coordenados obtidos da leitura da carta digital impressa com seus equivalentes no campo, já conhecidos nos testes anteriores. Este teste visa classificar o produto digital impresso, contemplando desta forma todo o espectro de erros cometidos e introduzidos no decorrer do processo, ou seja, desde a restituição, compilação ou pelo desenho convencional até a entrada em meio digital por meio da digitalização e finalmente pelo processo de impressão por *plotter*.

3.10.1 Teste de normalidade

Para avaliação de amostras de populações, muitos testes estatísticos requerem a normalidade da distribuição, especialmente aquelas consideradas amostras pequenas ($n < 30$).

Segundo ANDRADE (1991), "é imprescindível testar a amostra quanto à normalidade da distribuição". Testes como o χ^2 (Qui-quadrado) podem ser empregados na verificação da aderência de uma distribuição amostral a um modelo teórico, mas apresentam o inconveniente de não serem recomendados para pequenas amostras, que é exatamente o que ocorre nos testes apresentados neste trabalho.

Segundo GAGG (1997), pesquisadores têm se valido do teste de verificação de normalidade apresentado por FILLIBEN (1975), pois este se constitui numa ferramenta confiável na avaliação da normalidade de amostras e torna-se satisfatoriamente adequado para testes em pequenas amostras. Baseia-se no gráfico de probabilidades denominado *Q.Q Plot* e no coeficiente de correlação r .

O teste consiste em calcular o coeficiente de correlação e compará-lo a valores tabelados (tabela 6) em função do número de amostras e o nível de confiança a ser utilizado no teste.

TABELA 6: PERCENT POINTS OF THE NORMAL PROBABILITY PLOT CORRELATION COEFFICIENT r

n	,000	,005	,01	,025	,05	,10	,25	,50	,75	,90	,95	,975	,99	,995
3	,866	,867	,869	,872	,879	,891	,924	,966	,991	,999	1,000	1,000	1,000	1,000
4	,784	,813	,822	,845	,868	,894	,931	,958	,979	,992	,996	,998	,999	1,000
5	,726	,803	,822	,855	,879	,902	,935	,960	,977	,988	,992	,995	,997	,998
6	,683	,818	,835	,868	,890	,911	,940	,962	,977	,986	,990	,993	,996	,997
7	,648	,828	,847	,876	,899	,916	,944	,965	,978	,986	,990	,992	,995	,996
8	,619	,841	,859	,886	,905	,924	,948	,967	,979	,986	,990	,992	,995	,996
9	,595	,851	,868	,893	,912	,929	,951	,968	,980	,987	,990	,992	,994	,995
10	,574	,860	,876	,900	,917	,934	,954	,970	,981	,987	,990	,992	,994	,995
...
...

Fonte: FILLIBEN (1975)

Cálculo do coeficiente de correlação

$$r = \text{correl}(X_i, Z_i) = \frac{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Z_i) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right) \right]}{\sqrt{\left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right)^2 \right]}} \quad (3.1)$$

A seqüência para o cálculo do coeficiente de correlação r é demonstrado a seguir:

- ordenar crescentemente os valores das discrepâncias encontradas entre as coordenadas dos pontos observados;
- calcular a probabilidade acumulada conforme o descrito abaixo

$$p(j) = (j - 1 / 2) / n \text{ onde,}$$

$p(j)$ = probabilidade acumulada

j = posição ocupada pela observação (1, 2, 3...)

$\frac{1}{2}$ = correção de continuidade (aproximação de uma distribuição discreta por uma outra contínua);

- c) determinar, com base nas probabilidades acumuladas, os valores de z , conforme tabelas da distribuição normal;
- d) calcular o coeficiente de correlação dado pela (3.1);
- e) comparar o coeficiente r calculado com o coeficiente tabelado r_{tab} .

A normalidade da distribuição se verifica, quando o coeficiente calculado é maior que o coeficiente tabelado. A tabela 6, desenvolvida por FILLIBEN (1975), mostra diversos tamanhos de amostras e diferentes níveis de significância ;

- f) proceder nesta fase a construção do gráfico *Q.Q Plot*.

O gráfico *Q.Q Plot* traz nas abcissas os valores tabelados de z , e nas ordenadas, as discrepâncias apuradas pela comparação de coordenadas. Se os pontos se distribuem aproximadamente ao longo de uma reta, pode-se dizer que os dados estão distribuídos normalmente.

Porém, podem ocorrer amostras onde não se verifica a normalidade da distribuição. Nestes casos os testes que impõem a condição de normalidade perdem o seu valor, necessitando desta forma de testes que não sejam dependentes da normalidade, ou seja, testes não paramétricos.

O critério da "Melhor Estimativa Sistemática Fácil" é apontado por BRITO (1987), como uma estimativa pontual robusta e livre da distribuição, conforme demonstrado em WONNACOTT & WONNACOTT (1980). BRITO (1987), ainda sugere o uso do teste de sinal, que é uma estimativa intervalar que também independe da

normalidade da distribuição, mas tem o inconveniente de exigir uma amostra com número de pontos superior a 15.

Porém, a utilização de um teste não paramétrico permite apenas a análise de um valor médio de erro, baseado na média ou na mediana, mas não analisa o desvio padrão que a rigor avalia a precisão, ou seja, a consistência interna da carta. Desta forma, uma análise da qualidade, que é a composição de acurácia e precisão, estaria comprometida.

Segundo ANDRADE (1991), a não normalidade de uma amostra denota "a presença de erros sistemáticos agindo, diferentemente, nos vários pontos de teste", comprometendo desta forma sua qualidade.

Com base nos dois argumentos expostos anteriormente, optou-se por desclassificar o quesito avaliado quando se verificou a não normalidade da distribuição, pois, em caso contrário, uma análise de todas as etapas do processo seria necessária, fugindo ao proposto, conforme explícito na seção 2.6.

CAPÍTULO IV

4 TESTES E RESULTADOS

4.1 Execução do Teste 1 – carta gráfica x campo

Conforme discutido na seção 3.10, os testes envolvendo carta gráfica x campo permitem apurar os erros introduzidos pelos levantamentos diretos ou pela restituição fotogramétrica, como no caso deste trabalho. Posteriormente classifica-se a carta gráfica referindo-se aos limites do PEC aceitáveis e preconizados pelo Decreto 89.817.

4.1.1 Planimetria

As discrepâncias apuradas entre os dados obtidos da carta gráfica e o levantamento de campo são as amostras utilizadas neste teste e são individualizadas na coluna 10 da tabela 7.

TABELA 7: ERROS ENTRE COORDENADAS DA CARTA GRÁFICA E COORDENADAS DE CAMPO

Ponto	Carta gráfica (m)			Campo (m)			Erros apurados (m)			
	Média Norte	Média Este	Média altim.	Norte	Este	Altit.	Norte	Este	Plan.	Altim. (ABS)
1	7774740,44	530281,79	833,09	7774740,75	530279,72	832,17	0,31	-2,07	2,09	0,92
2	7773990,20	532991,20	791,43	7773974,20	532975,45	788,82	-16,00	-15,75	22,45	2,61
3	7774146,77	536981,17	950,00	7774149,25	536983,30	958,68	2,48	2,13	3,27	8,68
5	7776881,68	530250,63	798,42	7776882,58	530224,86	798,71	0,90	-25,77	25,79	0,29
6	7776821,10	533681,23	782,81	7776825,14	533664,80	781,89	4,04	-16,43	16,92	0,92
7	7777366,02	536288,28	820,02	7777364,82	536280,41	819,73	-1,20	-7,87	7,96	0,29
9	7779148,96	530574,80	844,07	7779144,74	530565,00	854,65	-4,22	-9,80	10,67	10,58
10	7778987,14	533155,34	759,08	7778984,06	533161,49	755,78	-3,08	6,15	6,88	3,30
11	7779658,07	536423,93	775,48	7779655,18	536430,54	773,27	-2,89	6,61	7,21	2,21
12	7779690,89	537922,36	818,41	7779689,01	537916,18	818,50	-1,88	-6,18	6,46	0,09
Média erros planimétricos									10,97	
Desvio padrão planimétrico									8,06	
Média erros altimétricos										2,99
Desvio padrão altimétrico										3,69

4.1.1.1 Teste de normalidade

a) ordenar crescentemente os valores das discrepâncias (tabela 8 coluna 2);

b) calcular a probabilidade acumulada p_{acum} (tabela 8 coluna 3)

$$p(j) = (j-1/2) / n;$$

c) determinar z conforme tabelas da distribuição normal (tabela 8 coluna 4);

TABELA 8: ETAPAS NO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO r PARA PLANIMETRIA - TESTE 1

Nº pontos	X	p_{acum}	Z tabelado	X*Z	X^2	$(\sum X)^2$	Z^2	$(\sum Z)^2$
10	2,09	0,05	-1,64	-3,4276	4,3681		2,6896	
	3,27	0,15	-1,04	-3,4008	10,6929		1,0816	
	6,46	0,25	-0,67	-4,3282	41,7316		0,4489	
	6,88	0,35	-0,39	-2,6832	47,3344		0,1521	
	7,21	0,45	-0,13	-0,9373	51,9841		0,0169	
	7,96	0,55	0,13	1,0348	63,3616		0,0169	
	10,67	0,65	0,39	4,1613	113,8489		0,1521	
	16,92	0,75	0,67	11,3364	286,2864		0,4489	
	22,45	0,85	1,04	23,3480	504,0025		1,0816	
	25,79	0,95	1,64	42,2956	665,1241		2,6896	
Σ	109,70		0	67,3990	1788,7346	12034,0900	8,7782	0

d) calcular o coeficiente de correlação dado pela expressão (3.1);

$$r = \text{correl}(X_i, Z_i) = \frac{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Z_i) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right) \right]}{\sqrt{\left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \cdot \left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{(673,99)}{\sqrt{513810,5182}}$$

$$r = 0,940$$

e) determinar coeficiente de correlação tabelado r_{tab} ;

para o nível de significância de 10% $\Rightarrow \alpha = 0,1$

conforme tabela de Filliben, para $n = 10$ e $\alpha = 0,1$

coeficiente de correlação $r_{tab} = 0,934$

Comparando o coeficiente de correlação calculado $r = 0,940$, com o coeficiente de correlação tabelado $r_{tab} = 0,934$, conclui-se que a distribuição é considerada normal pois $r = 0,940 > r_{tab} = 0,934$.

f) construção do gráfico *Q.Q Plot* (figura 23).

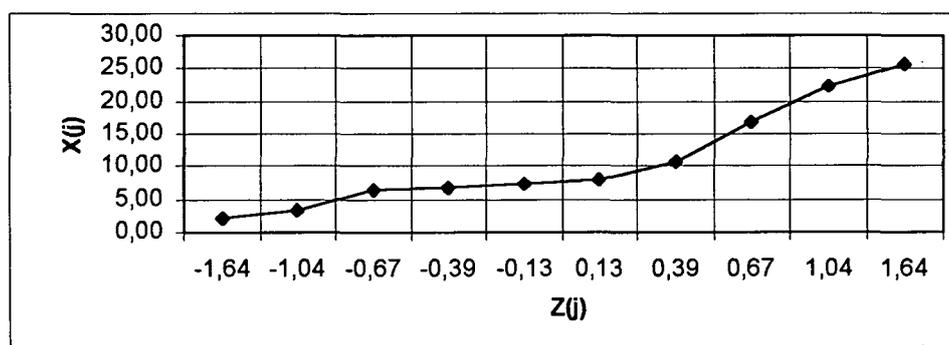


Figura 23: gráfico *Q.Q Plot* para planimetria – teste 1

Analisando o gráfico conclui-se que a distribuição se apresenta normal, corroborando a análise do coeficiente de correlação feita anteriormente. Verifica-se uma pequena discrepância, mas, no aspecto geral, os pontos se distribuem aproximadamente como uma reta.

4.1.1.2 Avaliação da acurácia

A estimação da média populacional μ a partir da média amostral \bar{x} , sendo o desvio padrão populacional σ desconhecido é dada por:

$$\mu \leq \bar{x} + (t_{\alpha}) \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad (4.1)$$

Dados:

média amostral $\bar{x} = 10,97$ m

desvio padrão amostral $s = 8,06$ m

média populacional $\mu = ?$

intervalo de confiança I.C = 90% (figura 24)

graus de liberdade $\nu = n - 1$; $\nu = 10 - 1$; $\nu = 9$

conforme tabelado, $t_{\alpha} = 1,38$

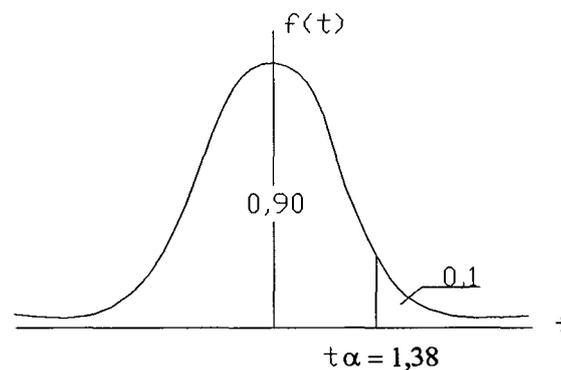


Figura 24: intervalo de confiança de 90% para o teste 1 - planimetria

construção do intervalo unilateral

$$\mu \leq \bar{x} + (t_{\alpha}) \cdot \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

$$\mu \leq 10,97 + (1,38) \cdot \left(\frac{8,06}{\sqrt{10}} \right) \Rightarrow \mu \leq 14,49$$

Ou seja, a média μ estimada da população é inferior a **14,49 m** no intervalo de confiança de 90%.

Para a classificação nos padrões A, B ou C, tem-se como erro máximo permitido 0,5 mm, 0,8 mm e 1,00 mm que correspondem respectivamente a 5 m, 8 m e 10 m no

terreno na escala 1:10 000, portanto inferiores à maior média possível para o intervalo determinado.

Porém, não basta o erro máximo permitido ser menor que a maior média possível para o intervalo, é preciso certificar qual a probabilidade deste ser menor ou igual a 5, 8 ou 10 m.

Na verificação para a classe A, faz-se um teste de hipótese onde se confronta a hipótese $H_0: \mu \leq 5$ m com a hipótese $H_1: \mu > 5$ m com um nível de significância de 10%. Rejeitando-se a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 .

Para o teste usa-se a expressão (4.2) que se relaciona com a distribuição t de *Student*, pois o desvio padrão populacional é desconhecido.

$$t = \frac{(\bar{x} - \mu_0)}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (4.2)$$

Onde:

t = estatística amostral calculada

\bar{x} = média amostral

s = desvio padrão amostral

μ_0 = média populacional esperada

n = tamanho da amostra.

Tem-se assim a formulação do teste

1) $H_0: \mu \leq 5$ m

2) $H_1: \mu > 5$ m

3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)

4) Região de rejeição (figura 25)

5) Cálculo da estatística t

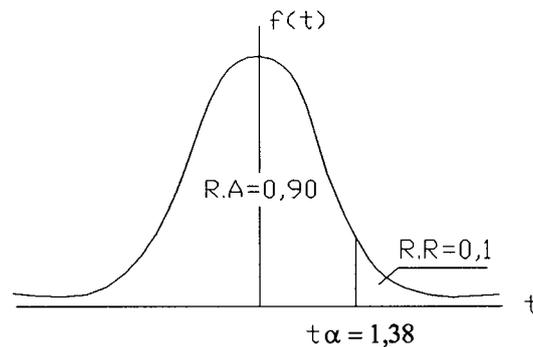


Figura 25: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe A

e a sua resolução

$$t = \frac{(10,97 - 5)}{\frac{8,06}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 2,34$$

Para consulta aos valores tabelados:

graus de liberdade $\nu = 9$ ($n-1$), área de rejeição $p = 0,1$ ($1-0,9$) $\Rightarrow t_{\alpha} = 1,38$

Conclusão

Como $t = 2,34 > t_{\alpha} = 1,38$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é maior que 5 m, portanto acima do erro máximo permitido para a classe A, impedindo desta forma a classificação nesta classe.

Na impossibilidade de classificação em carta padrão A, passa-se a analisar as tolerâncias para a classe B, que tem como erro máximo permitido 0,8 mm na escala da carta que corresponde a 8 m no terreno na escala 1:10 000, portanto inferior a 14,49 m e passível de classificação a partir da confirmação pelo teste de hipótese.

O teste aplicado é análogo ao anterior, divergindo apenas na tolerância admitida para o erro médio.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \mu \leq 8 \text{ m}$
- 2) $H_1: \mu > 8 \text{ m}$
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 26)
- 5) Cálculo da estatística t

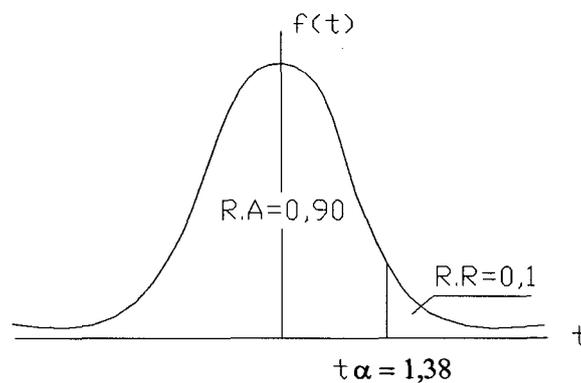


Figura 26: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe B

e a sua resolução

$$t = \frac{(10,97 - 8)}{\frac{8,06}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 1,17$$

conforme tabela $t_{\alpha} = 1,38$

Conclusão

Como $t = 1,17 < t_{\alpha} = 1,38$, a hipótese H_0 é aceitável ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é menor ou igual a 8 m no intervalo considerado,

portanto inferior ao erro máximo permitido para a classe B, permitindo desta forma a classificação em acurácia nesta classe.

4.1.1.3 Avaliação da precisão

Conforme exposto na seção 2.5, a precisão reflete o grau de dispersão em torno da média, identificando a coerência posicional entre as feições de uma carta.

Para apurar a precisão de uma carta ou documento cartográfico qualquer, trilha-se de forma análoga o caminho desenvolvido na determinação da acurácia, diferenciando-se pelo tipo de teste a ser aplicado, utilizando-se o desvio padrão onde se tomava como base a média.

A estimação do desvio padrão populacional σ a partir do desvio padrão amostral s é dada por:

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\alpha}}} \quad (4.3)$$

Dados:

média amostral $\bar{x} = 10,97$

desvio padrão amostral $s = 8,06$

desvio padrão populacional $\sigma = ?$

intervalo de confiança I.C = 90%

graus de liberdade $\nu = n-1$; $\nu = 10 - 1$; $\nu = 9$

conforme tabelado, $\chi^2_{\alpha} = 14,684$ ($\nu = 9$, $p = 0,10$)

$\chi^2_{1-\alpha} = 4,168$ ($\nu = 9$, $p = 0,90$)

construção do intervalo unilateral

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(10-1)8,06^2}{4,168}} \Rightarrow \sigma \leq \mathbf{11,84}$$

Ou seja, o desvio padrão σ estimado da população é inferior a **11,84 m** no intervalo de confiança de 90%.

Para classificação nos padrões A, B ou C, tem-se como erro máximo permitido 0,3 mm, 0,5 mm e 0,6 mm que corresponde respectivamente a 3 m, 5 m e 6 m no terreno, na escala 1:10 000, portanto inferiores ao maior desvio possível para o intervalo determinado.

Porém, não basta o desvio máximo permitido ser menor que o maior desvio possível para o intervalo, é preciso ainda certificar qual a probabilidade deste ser menor ou igual a 3 m, 5 m ou 6 m.

Na verificação para a classe A, faz-se um teste de hipótese onde se confronta a hipótese $H_0: \sigma^2 \leq 3^2$ m com a hipótese $H_1: \sigma^2 > 3^2$ m com um nível de significância de 10%. Rejeitando-se a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 .

Para o teste, usa-se a expressão (4.4) que se relaciona com a distribuição Qui-quadrado (χ^2), e utiliza da variância na formulação.

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2} \quad (4.4)$$

onde:

χ^2 = estatística amostral calculada

s = desvio padrão amostral

σ_0^2 = variância populacional esperada

n = tamanho da amostra.

Tem-se assim a formulação do teste

1) $H_0: \sigma^2 \leq 3^2 \text{ m}$

2) $H_1: \sigma^2 > 3^2 \text{ m}$

3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)

4) Região de rejeição (figura 27)

5) Cálculo da estatística χ^2

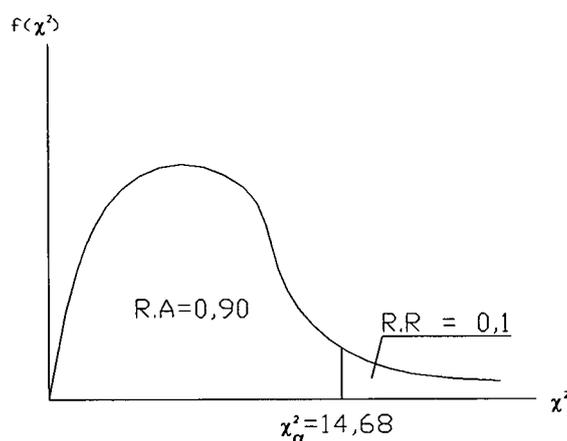


Figura 27: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe A

e a sua resolução

$$\chi^2 = \frac{(10-1)8,06^2}{3^2} \Rightarrow \chi^2 = 64,96$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 64,96 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional é maior que 9 m, ou seja, o desvio padrão é maior

que 3 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe A, não permitindo desta forma a classificação nesta classe.

Na impossibilidade de classificação na classe A, avalia-se possibilidade de classificação na classe B.

Tem-se assim a formulação do teste

1) $H_0: \sigma^2 \leq 5^2 \text{ m}$

2) $H_1: \sigma^2 > 5^2 \text{ m}$

3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)

4) Região de rejeição (figura 28)

5) Cálculo da estatística χ^2

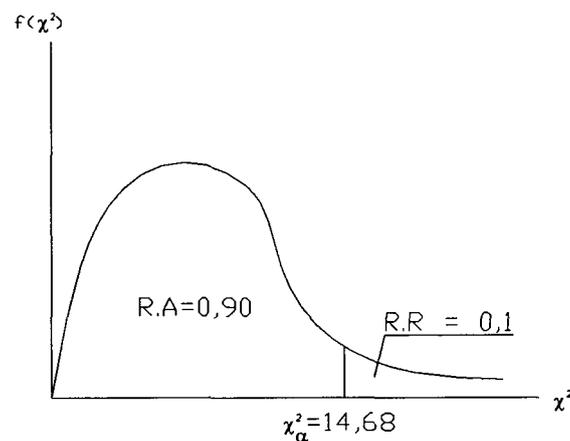


Figura 28: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe B

e a sua resolução

$$\chi^2 = \frac{(10-1)8,06^2}{5^2} \Rightarrow \chi^2 = 23,39$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 23,39 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional será maior que 25 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 5 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe B, não permitindo desta forma a classificação nesta classe.

Resta ainda a classe C, que admite desvios de até 6 m. Analogamente aos testes anteriores, é formulada a hipótese, diferenciando apenas no valor do desvio padrão.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \sigma^2 \leq 6^2$ m
- 2) $H_1: \sigma^2 > 6^2$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 29)
- 5) Cálculo da estatística χ^2

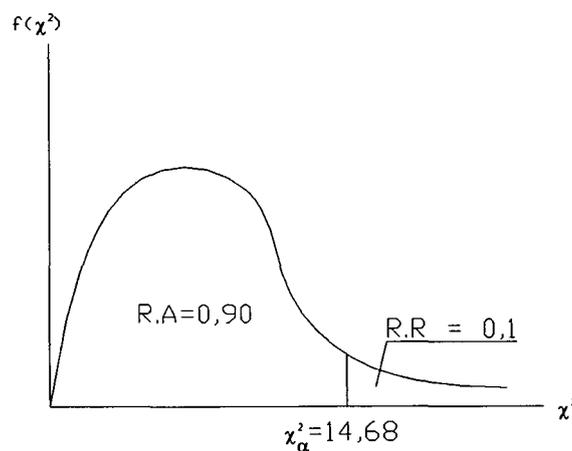


Figura 29: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe C

$$\chi^2 = \frac{(10-1)8,06^2}{6^2} \Rightarrow \chi^2 = 16,24$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 16,24 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional será maior que 36 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 6 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe C, não permitindo desta forma a classificação nesta classe.

Apurados os valores para a média e para o desvio padrão, classifica-se a carta como acurada para o nível B, pois esta apresenta discrepâncias dos valores "verdadeiros" obtidos de campo de até 8 m e imprecisa para os demais níveis por não apresentar coerência entre suas feições, visto que a dispersão apurada em torno da média está acima dos limites estabelecidos pela legislação.

Conforme discutido na seção 2.7, se presumido que não há acurácia quando não há precisão, não resta outra alternativa senão desclassificar planimetricamente a carta em questão, mesmo esta tendo apresentado acurácia suficiente para classificá-la como padrão B.

4.1.2 Altimetria

As discrepâncias altimétricas apuradas entre os dados obtidos da carta gráfica e o levantamento de campo são as amostras utilizadas neste teste e estão individualizadas na coluna 11 da tabela 7.

Neste trabalho não foram conduzidos testes de avaliação altimétrica de acurácia, pois os dados altimétricos de campo podem trazer discrepâncias de até 3 m do seu valor verdadeiro, introduzidos pela incerteza prevista pelo IBGE em seu mapa geoidal.

É também relevante a incerteza de ordem métrica introduzida pela ocupação do marco Mateus Leme, pois este não possui comprovação de altitude h por nivelamento geométrico.

Considerando estes dois fatores conclui-se que, para uma carta com curvas de nível eqüidistantes 5 m, não se pode fazer uma avaliação altimétrica adequada, sabendo-se, a princípio, de incertezas de até 3 m, possíveis de ocorrer na coleta de dados em campo.

Entretanto, testes de precisão poderão ser conduzidos, pois a precisão avalia a consistência interna da carta, ou seja, a coerência entre suas feições, que não sofrem influência da falta de proximidade dos valores verdadeiros, pois conforme visto na seção 2.7, pode ser satisfatório obter classificação em precisão mesmo sem classificação em acurácia.

Assim como em planimetria, os testes em altimetria pressupõem normalidade da distribuição, portanto aplica-se o teste de normalidade, conforme visto na seção 3.10.1

4.1.2.1 Teste de normalidade

Os passos são idênticos aos apresentados na seção 3.10.1, diferenciando-se apenas nos valores das discrepâncias tomadas para análise.

Os dados são apresentados na tabela 9 e materializados graficamente na figura 30.

TABELA 9: ETAPAS NO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO r PARA ALTIMETRIA – TESTE 1

Nº pontos	X	p _{acum.}	Z _{tabelado}	X*Z	X ²	(ΣX) ²	Z ²	(ΣZ)
10	0,09	0,05	-1,64	-0,1476	0,0081		2,6896	
	0,29	0,15	-1,04	-0,3016	0,0841		1,0816	
	0,29	0,25	-0,67	-0,1943	0,0841		0,4489	
	0,92	0,35	-0,39	-0,3588	0,8464		0,1521	
	0,92	0,45	-0,13	-0,1196	0,8464		0,0169	
	2,21	0,55	0,13	0,2873	4,8841		0,0169	
	2,61	0,65	0,39	1,0179	6,8121		0,1521	
	3,3	0,75	0,67	2,2110	10,89		0,4489	
	8,68	0,85	1,04	9,0272	75,3424		1,0816	
	10,58	0,95	1,64	17,3512	111,9364		2,6896	
Σ	29,89		0	28,7727	211,7341	893,4121	8,7782	

$$r = \text{correl}(X_i, Z_i) = \frac{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Z_i) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right) \right]}{\sqrt{\left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{287,727}{\sqrt{107438,9267}} \Rightarrow r = 0,878$$

conforme tabela de Filliben, para $n = 10$ e $\alpha = 0,1$

coeficiente de correlação $r_{\text{tab}} = 0,934$.

Comparando o coeficiente de correlação calculado $r = 0,878$, com o coeficiente de correlação tabelado $r_{\text{tab}} = 0,934$, conclui-se que a distribuição não é considerada normal, pois $r = 0,878 < r_{\text{tab}} = 0,934$.

Construção do gráfico *Q.Q Plot*

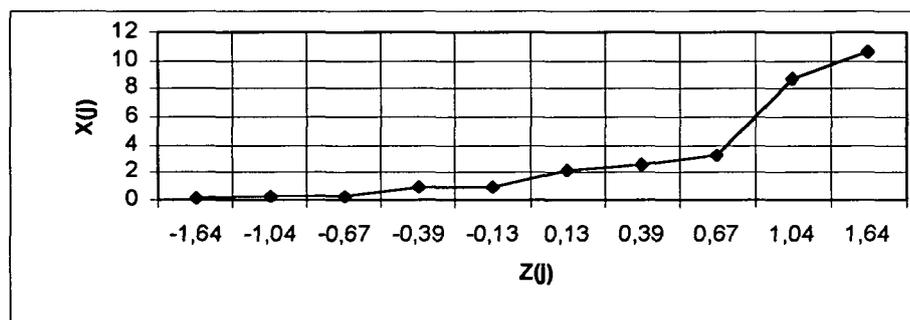


Figura 30: gráfico *Q.Q Plot* para altimetria - teste 1

Pela análise do gráfico verificam-se discrepâncias, principalmente, nos dois pontos extremos à direita. Conclui-se que os dados representados no gráfico não se comportam como uma distribuição normal, pois não se apresentam aproximadamente como uma reta, corroborando a análise do coeficiente de correlação feita anteriormente.

A não normalidade da distribuição remete à opção explícita na seção 3.10.1 e, assim, descarta-se qualquer classificação para o quesito analisado.

Em termos de precisão a carta foi rejeitada, pois não apresenta confiabilidade em suas posições altimétricas, quando analisadas à luz do Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.

4.1.3 Classificação da carta gráfica

Após a classificação, esta deverá constar no rodapé da carta, conforme prevê o decreto.

4.1.3.1 Planimetria

Acurácia: padrão B – posições com no máximo 8 m de afastamento das posições de campo consideradas verdadeiras.

Precisão: fora de padrão – posições com dispersão em torno da média acima da tolerância estabelecida.

Classificação planimétrica:

carta sem classificação, conforme padrões especificados pelo Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

4.1.3.2 Altimetria

Acurácia: fora de padrão – erro médio superior à tolerância estabelecida.

Precisão: fora de padrão – dispersão superior à tolerância estabelecida.

Classificação altimétrica:

carta sem classificação, conforme padrões especificados pelo Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

4.2 Execução do Teste 2 – arquivo digital x campo

A desqualificação da carta gráfica no teste 1, permite concluir que nos demais testes o produto também será desqualificado, pois se a origem não possui boa qualidade os produtos gerados a partir dela também não a terão. Portanto, a execução do teste 2 passa somente a fazer sentido pela detecção dos erros introduzidos no processo de digitalização, conforme discutido em 3.10, pela confirmação do teste anterior, além de dar seqüência ao desenvolvimento teórico deste trabalho.

A classificação do arquivo digital, também se refere aos limites do PEC aceitáveis e preconizados pelo Decreto 89.817, como ocorreu no primeiro teste.

4.2.1 Planimetria

As discrepâncias apuradas entre os dados obtidos do arquivo digital e o levantamento de campo são as amostras utilizadas neste teste e são individualizadas na coluna 10 da tabela 10 a seguir.

TABELA 10: ERROS ENTRE ARQUIVO DIGITAL E DADOS DE CAMPO

Ponto	Arquivo digital (m)			Campo (m)			Erros apurados (m)			
	Norte	Este	Altit. interpolada	Norte	Este	Altit.	Norte	Este	Planim.	Altim. (ABS)
1	7774741,49	530277,55	833,69	7774740,75	530279,72	832,17	-0,74	2,17	2,29	1,52
2	7773995,36	532985,50	791,43	7773974,21	532975,45	788,82	-21,16	-10,05	23,43	2,61
3	7774147,45	536980,46	950,00	7774149,25	536983,30	958,68	1,80	2,84	3,36	8,68
5	7776883,49	530250,93	801,76	7776882,58	530224,86	798,71	-0,91	-26,07	26,09	3,05
6	7776822,73	533680,37	782,43	7776825,14	533664,80	781,89	2,41	-15,57	15,76	0,54
7	7777366,13	536289,66	820,30	7777364,82	536280,41	819,73	-1,31	-9,25	9,34	0,57
9	7779153,30	530573,54	844,00	7779144,74	530565,00	854,65	-8,56	-8,54	12,09	10,65
10	7778993,51	533154,31	759,14	7778984,06	533161,49	755,78	-9,45	7,18	11,87	3,36
11	7779659,54	536425,92	776,18	7779655,18	536430,54	773,27	-4,36	4,62	6,35	2,91
12	7779692,60	537924,76	818,40	7779689,01	537916,18	818,50	-3,59	-8,58	9,30	0,10
Média erros planimétricos									11,99	
Desvio padrão planimétrico									7,88	
Média erros altimétricos										3,40
Desvio padrão altimétrico										3,53

4.2.1.1 Teste de normalidade

a) ordenar crescentemente os valores das discrepâncias (tabela 11 coluna 2);

b) calcular a probabilidade acumulada p_{acum} (tabela 11 coluna 3);

$$p(j) = (j-1/2) / n$$

c) determinar z conforme tabelas da distribuição normal (tabela 11 coluna 4);

TABELA 11: ETAPAS NO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO r PARA PLANIMETRIA – TESTE 2

Nº pontos	X	p _{acum}	Z _{tabelado}	X.Z	X ²	(ΣX) ²	Z ²	(Σ Z) ²
10	2,29	0,05	-1,64	-3,7556	5,2441		2,6896	
	3,36	0,15	-1,04	-3,4944	11,2896		1,0816	
	6,35	0,25	-0,67	-4,2545	40,3225		0,4489	
	9,30	0,35	-0,39	-3,6270	86,4900		0,1521	
	9,34	0,45	-0,13	-1,2142	87,2356		0,0169	
	11,87	0,55	0,13	1,5431	140,8969		0,0169	
	12,09	0,65	0,39	4,7151	146,1681		0,1521	
	15,76	0,75	0,67	10,5592	248,3776		0,4489	
	23,43	0,85	1,04	24,3672	548,9649		1,0816	
	26,09	0,95	1,64	42,7876	680,6881		2,6896	
Σ	119,88		0	67,6265	1995,6774	14371,2144	8,7782	0

d) calcular o coeficiente de correlação dado pela (3.1);

$$r = \text{correl}(X_i, Z_i) = \frac{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Z_i) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right) \right]}{\sqrt{\left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{676,265}{\sqrt{490311,5928}} \Rightarrow r = 0,966$$

e) determinar coeficiente de correlação tabelado r_{tab} ;

para o nível de significância de 10% $\Rightarrow \alpha = 0,1$

conforme tabela de Filliben, para $n = 10$ e $\alpha = 0,1$

coeficiente de correlação $r_{tab} = 0,934$

Comparando o coeficiente de correlação calculado $r = 0,966$, com o coeficiente de correlação tabelado $r_{tab} = 0,934$, conclui-se que a distribuição é considerada normal, pois $r = 0,966 > r_{tab} = 0,934$.

f) construção do gráfico *Q.Q Plot* (figura 31)

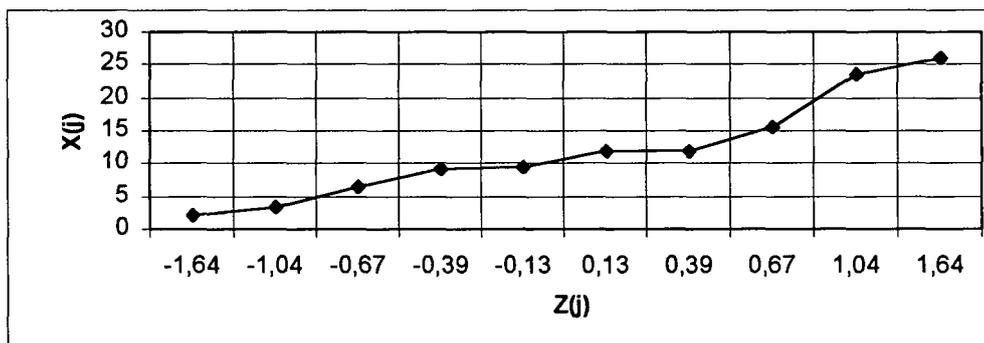


Figura 31: gráfico *Q.Q Plot* para o teste 2 - planimetria

Pela análise do gráfico a distribuição se apresenta normal, corroborando a análise do coeficiente de correlação feita anteriormente, pois no aspecto geral, os pontos se distribuem aproximadamente como uma reta.

4.2.1.2 Avaliação da acurácia

A estimação da média populacional μ a partir da média amostral \bar{x} , sendo o desvio padrão populacional σ desconhecido é dada pela (4.1).

Dados:

média amostral $\bar{x} = 11,99$ m

desvio padrão amostral $s = 7,88$ m

média populacional $\mu = ?$

intervalo de confiança I.C = 90% (figura 32)

graus de liberdade $\nu = n-1$; $\nu = 10 - 1$; $\nu = 9$

conforme tabelado, $t_{\alpha} = 1,38$

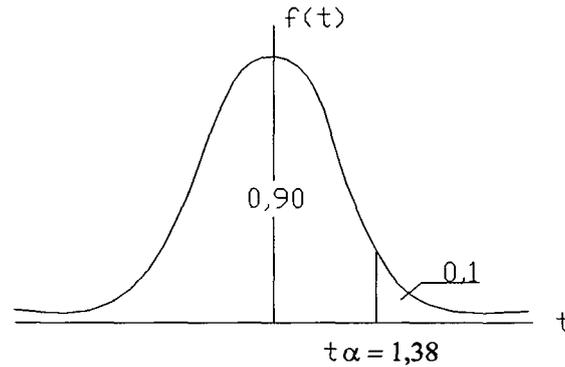


Figura 32: intervalo de confiança de 90% para o teste 2 - planimetria

construção do intervalo unilateral

$$\mu \leq 11,99 + (1,38) \left(\frac{7,88}{\sqrt{10}} \right) \Rightarrow \mu \leq 15,43$$

Ou seja, a média μ estimada da população é inferior a **15,43 m** no intervalo de confiança de 90%.

Para a classificação nos padrões A, B ou C, tem-se como erro máximo permitido 0,5 mm, 0,8 mm e 1,00 mm que correspondem respectivamente a 5 m, 8 m e 10 m no terreno na escala 1:10 000, portanto, inferiores à maior média possível para o intervalo determinado.

Na verificação para a classe A, faz-se um teste de hipótese onde se confronta a hipótese $H_0: \mu \leq 5$ m com a hipótese $H_1: \mu > 5$ m com um nível de significância de 10%.

Rejeitando-se a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 . Para o teste usa-se a (4.2).

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \mu \leq 5$ m
- 2) $H_1: \mu > 5$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)

- 4) Região de rejeição (figura 33)
- 5) Cálculo da estatística t

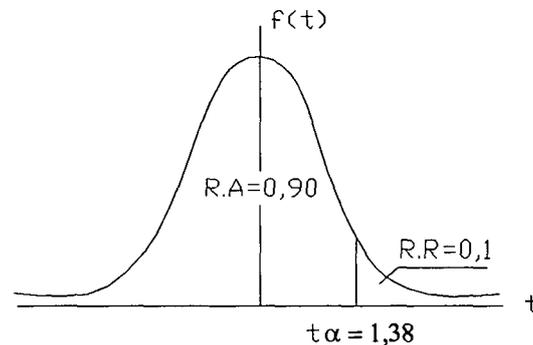


Figura 33: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe A

e a sua resolução

$$t = \frac{(11,99 - 5)}{\frac{7,88}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 2,81$$

conforme tabela $t_{\alpha} = 1,38$

Conclusão

Como $t = 2,81 > t_{\alpha} = 1,38$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é maior que 5 m, portanto acima do erro máximo permitido para a classe A, impedindo desta forma a classificação nesta classe.

Passa-se a analisar as tolerâncias para a classe B, que tem como erro máximo permitido 0,8 mm na escala da carta que corresponde a 8 m no terreno na escala 1:10.000, portanto inferior a **15,43 m** e passível de classificação a partir da confirmação pelo teste de hipótese.

O teste aplicado é análogo ao anterior, divergindo apenas na tolerância admitida para o erro médio.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \mu \leq 8 \text{ m}$
- 2) $H_1: \mu > 8 \text{ m}$
- 3) $\alpha = 0,1 (1 - 0,9)$
- 4) Região de rejeição (figura 34)
- 5) Cálculo da estatística t

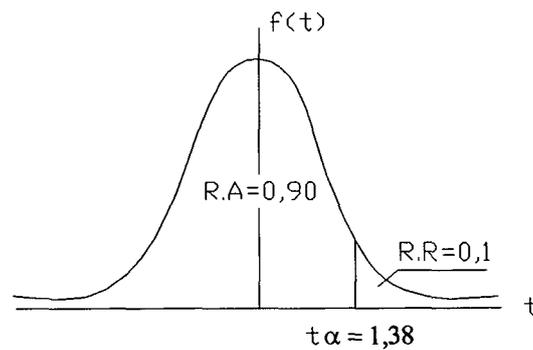


Figura 34: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe B

e a sua resolução

$$t = \frac{(11,99 - 8)}{\frac{7,88}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 1,60$$

conforme tabela $t_\alpha = 1,38$

Conclusão

Como $t = 1,60 > t_\alpha = 1,38$, a hipótese H_0 é rejeitada ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é maior ou igual a 8 m no intervalo considerado, portanto, superior ao erro máximo permitido para a classe B, não permitindo desta forma a classificação em acurácia nesta classe.

Para classificação no padrão C, passa-se a analisar as tolerâncias para esta classe, que tem como erro máximo permitido 1,0 mm na escala da carta que corresponde a 10 m no terreno, na escala 1:10 000, portanto inferior a **15,43 m** e passível de classificação a partir da confirmação pelo teste de hipótese.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \mu \leq 10 \text{ m}$
- 2) $H_1: \mu > 10 \text{ m}$
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 35)
- 5) Cálculo da estatística t

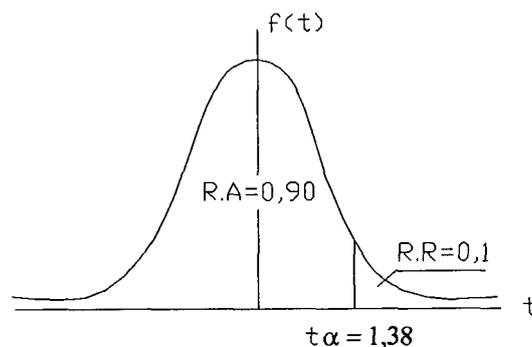


Figura 35: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe C

e a sua resolução

$$t = \frac{(11,99 - 10)}{\frac{7,88}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 0,80$$

Conforme tabela $t_\alpha = 1,38$

Conclusão

Como $t = 0,80 < t_{\alpha} = 1,38$, a hipótese H_0 é aceitável ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é menor ou igual a 10 m no intervalo considerado, portanto inferior ao erro máximo permitido para a classe C, permitindo desta forma a classificação em acurácia nesta classe.

4.2.1.3 Avaliação da precisão

Para estimação do desvio padrão populacional σ , a partir do desvio padrão amostral s , usa-se a (4.3).

Dados:

média amostral $\bar{x} = 11,99$ m

desvio padrão amostral $s = 7,88$ m

desvio padrão populacional $\sigma = ?$

intervalo de confiança I.C = 90%

graus de liberdade $\nu = n-1$; $\nu = 10 - 1$; $\nu = 9$

conforme tabelado, $\chi^2_{\alpha} = 14,684$ ($\nu = 9$, $p = 0,10$); $\chi^2_{1-\alpha} = 4,168$ ($\nu = 9$, $p = 0,90$)

construção do intervalo unilateral

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(10-1)7,88^2}{4,168}} \Rightarrow \sigma \leq \mathbf{11,58}$$

Ou seja, o desvio padrão σ estimado da população é inferior a **11,58 m** no intervalo de 90% de confiança.

Para classificação no padrão A, o erro máximo de dispersão permitido é de 0,3 mm na escala da carta, ou seja, 3 m no terreno na escala 1:10 000, portanto abaixo do limite **11,58 m**.

Faz-se desta forma um teste de hipótese que utiliza a variância populacional como base dos testes, confrontando-se a hipótese $H_0: \sigma^2 \leq 3^2$ m com a hipótese $H_1: \sigma^2 > 3^2$ m ao nível de significância de 10%. Rejeitando-se a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 . Para o teste usa-se a (4.4).

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \sigma^2 \leq 3^2$ m
- 2) $H_1: \sigma^2 > 3^2$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 36)
- 5) Cálculo da estatística χ^2

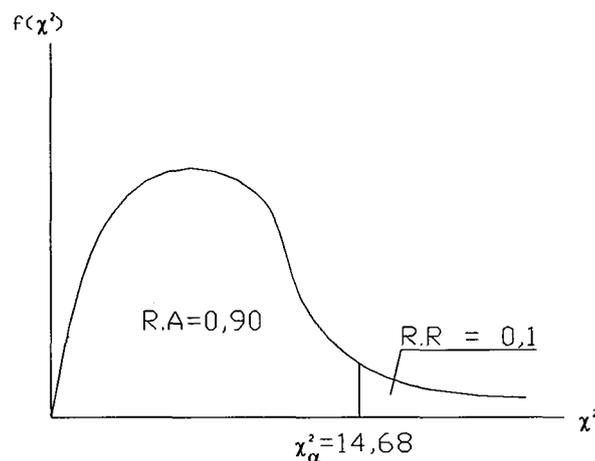


Figura 36: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe A

$$\chi^2 = \frac{(10-1)7,88^2}{3^2} \Rightarrow \chi^2 = 62,09$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 62,09 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional é maior que 9 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 3 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe A, não permitindo desta forma, a classificação nesta classe.

Analogamente ao teste anterior, faz-se o teste para a classe B que tem como erro máximo de dispersão 0,5 mm na escala da carta, ou seja, 5 m no terreno na escala 1:10.000, portanto abaixo do limite 11,58 m e passível de classificação a partir da confirmação pelo teste de hipótese.

Tem-se assim a formulação do teste

1) $H_0: \sigma^2 \leq 5^2 \text{ m}$

2) $H_1: \sigma^2 > 5^2 \text{ m}$

3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)

4) Região de rejeição (figura 37)

5) Cálculo da estatística χ^2

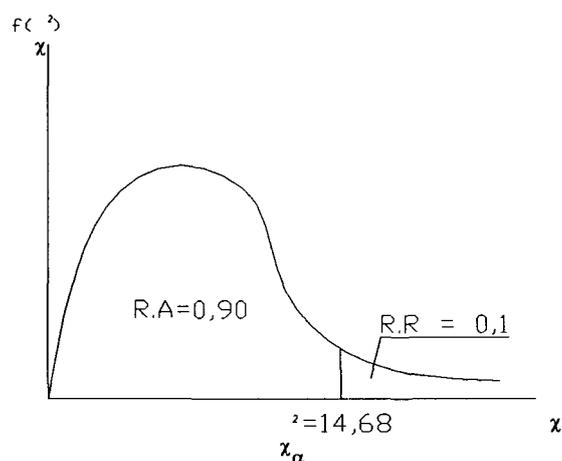


Figura 37: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe B

e a sua resolução

$$\chi^2 = \frac{(10-1)7,88^2}{5^2} \Rightarrow \chi^2 = 22,35$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 22,35 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional é maior que 25 m², ou seja, o desvio padrão é maior que 5 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe B.

Como não foi possível classificar o arquivo digital nas classes A ou B, faz-se novo teste considerando o desvio de 0,6 mm na escala da carta, permitido para a classe C, ou seja, 6 m no terreno na escala 1:10 000, portanto abaixo do limite **11,58 m**.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \sigma^2 \leq 6^2 \text{ m}^2$
- 2) $H_1: \sigma^2 > 6^2 \text{ m}^2$
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 38)
- 5) Cálculo da estatística χ^2

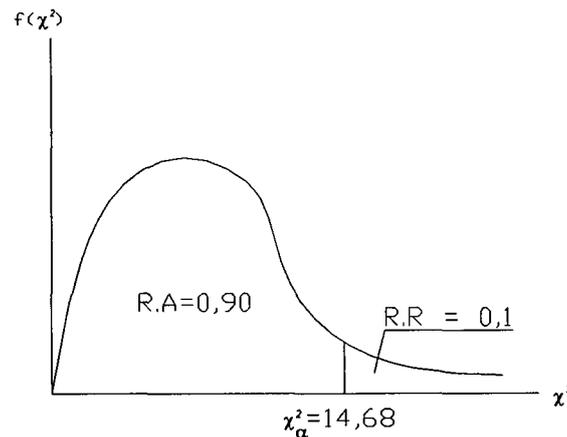


Figura 38: região de rejeição e aceitação para precisão– planimetria - classe C

e a sua resolução

$$\chi^2 = \frac{(10-1)7,88^2}{6^2} \Rightarrow \chi^2 = 15,52$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 15,52 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional é maior que 36 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 6 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe C.

Apurados os valores para a média e para o desvio padrão, classifica-se o arquivo digital como acurado para a classe C, pois este pode apresentar discrepâncias dos valores "verdadeiros" obtidos de campo de até 10 m e impreciso para os demais níveis por não apresentar coerência entre suas feições, visto que a dispersão apurada em torno da média está acima dos limites estabelecidos pela legislação.

Conforme discutido na seção 2.7, se presumido que não há acurácia quando não há precisão, não resta outra alternativa senão desclassificar planimetricamente o arquivo digital, mesmo este tendo apresentado acurácia suficiente para a classe C.

4.2.2 Altimetria

As discrepâncias altimétricas apuradas entre os dados obtidos do arquivo digital e o levantamento de campo são as amostras utilizadas neste teste e estão individualizadas na coluna 11 da tabela 10.

Pelos motivos expostos na seção 3.10.2, a análise da acurácia não foi possível de ser executada, mas, testes de precisão podem ser conduzidos desde que se verifique a normalidade da distribuição.

4.2.2.1 Teste de normalidade

Os passos são idênticos aos apresentados na seção 3.10.1, diferenciando-se apenas nos valores das discrepâncias tomadas para análise.

Os dados são apresentados na tabela 12 e materializados graficamente na figura 39.

TABELA 12: ETAPAS NO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO r PARA ALTIMETRIA – TESTE 2

Nº pontos	X	p _{acum}	Z _{tabelado}	X.Z	X ²	(Σ X) ²	Z ²	(Σ Z) ²
10	0,10	0,05	-1,64	-0,1640	0,0100		2,6896	
	0,54	0,15	-1,04	-0,5616	0,2916		1,0816	
	0,57	0,25	-0,67	-0,3819	0,3249		0,4489	
	1,52	0,35	-0,39	-0,5928	2,3104		0,1521	
	2,61	0,45	-0,13	-0,3393	6,8121		0,0169	
	2,91	0,55	0,13	0,3783	8,4681		0,0169	
	3,05	0,65	0,39	1,1895	9,3025		0,1521	
	3,36	0,75	0,67	2,2512	11,2896		0,4489	
	8,68	0,85	1,04	9,0272	75,3424		1,0816	
	10,65	0,95	1,64	17,4660	113,4225		2,6896	
Σ	33,99		0	28,2726	227,5741	1155,3201	8,7782	0

$$r = \text{correl}(X_i, Z_i) = \frac{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Z_i) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right) \right]}{\sqrt{\left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{282,726}{\sqrt{98352,787}} \Rightarrow r = 0,902$$

conforme tabela de Filliben, para $n = 10$ e $\alpha = 0,1$

coeficiente de correlação $r_{\text{tab}} = 0,934$

Comparando o coeficiente de correlação calculado $r = 0,902$, com o coeficiente de correlação tabelado $r_{\text{tab}} = 0,934$, conclui-se que a distribuição não é considerada normal, pois $r = 0,902 < r_{\text{tab}} = 0,934$.

Construção do gráfico *Q.Q Plot*

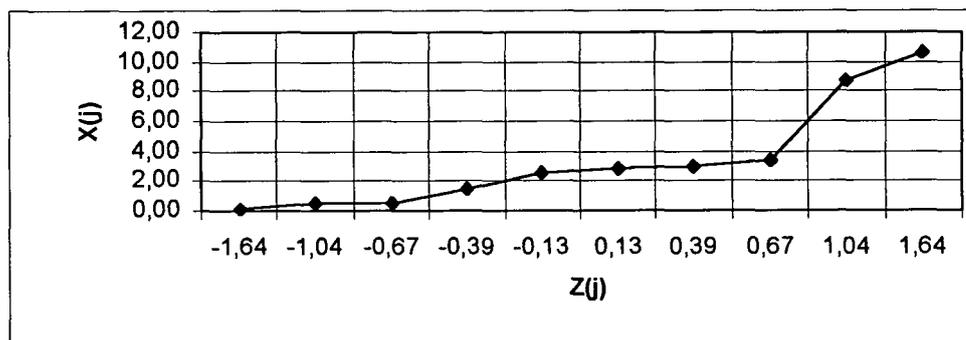


Figura 39: gráfico *Q.Q Plot* para altimetria – teste 2

Analisando o gráfico verificam-se discrepâncias principalmente nos dois pontos extremos à direita. Conclui-se que os dados representados no gráfico não se comportam como uma normal, pois sua distribuição não se apresenta aproximadamente como uma reta, corroborando a análise anterior.

A não normalidade da distribuição remete à opção explícita na seção 3.10.1 e assim, descarta-se qualquer classificação para o quesito analisado.

Em termos de precisão o arquivo digital foi rejeitado, podendo assim concluir-se que, o arquivo utilizado para o teste não apresenta confiabilidade em suas posições altimétricas, quando analisadas à luz do Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.

4.2.3 Classificação do arquivo digital

Na legenda do arquivo digital a seguinte inscrição foi anexada.

4.2.3.1 - Planimetria

Acurácia: padrão C – posições com, no máximo, 10 m de afastamento das posições de campo consideradas verdadeiras.

Precisão: fora de padrão – posições com dispersão em torno da média acima da tolerância estabelecida.

Classificação planimétrica:

Arquivo digital sem classificação, conforme padrões especificados pelo Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

4.2.3.2 - Altimetria

Acurácia: fora de padrão – erro médio superior à tolerância estabelecida.

Precisão: fora de padrão – dispersão superior à tolerância estabelecida.

Classificação altimétrica:

Arquivo digital sem classificação, conforme padrões especificados pelo Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

4.3 Execução do Teste 3– Carta digital impressa x campo

Pela desqualificação da carta gráfica e do arquivo digital nos teste 1 e 2 respectivamente, conclui-se que, no teste 3 o produto também será desqualificado, pelos motivos expostos em 4.2. Portanto, a execução do teste 3 visa detectar os erros acumulados no decorrer do processo e também aqueles introduzidos na impressão por *plotter*, conforme discutido em 3.10. Visa também a confirmação dos testes anteriores, além de dar seqüência ao desenvolvimento teórico deste trabalho.

A classificação da carta digital impressa, também se refere aos limites do PEC aceitáveis e preconizados pelo Decreto 89.817, como ocorreu nos 2 testes anteriores.

4.3.1 Planimetria

As coordenadas N e E da carta digital impressa foram obtidas da mesma forma que na carta gráfica, conforme exposto na seção 3.8.1. As discrepâncias apuradas entre estas e as coordenadas do levantamento de campo são as amostras utilizadas neste teste e são individualizadas na coluna 10 da tabela 13.

TABELA 13: ERROS ENTRE CARTA DIGITAL IMPRESSA E CAMPO

Ponto	Carta digital impressa (m)			Campo (m)			Erros apurados (m)			
	Média Norte	Média Este	Média altim.	Norte	Este	Altit.	Norte	Este	Planim.	Altim.
1	7774741,37	530276,32	834,22	7774740,75	530279,72	832,17	-0,62	3,40	3,46	2,05
2	7773993,90	532990,10	791,36	7773974,20	532975,45	788,82	-19,70	-14,65	24,55	2,54
3	7774146,07	536991,60	950,00	7774149,25	536983,30	958,68	3,18	-8,30	8,89	8,68
5	7776883,05	530246,10	798,04	7776882,58	530224,86	798,71	-0,47	-21,24	21,25	0,67
6	7776822,60	533685,56	782,57	7776825,14	533664,80	781,89	2,54	-20,76	20,91	0,68
7	7777365,29	536300,18	819,98	7777364,82	536280,41	819,73	-0,47	-19,77	19,78	0,25
9	7779152,30	530568,77	844,01	7779144,74	530565,00	854,65	-7,56	-3,77	8,45	10,64
10	7778992,67	533156,37	759,18	7778984,06	533161,49	755,78	-8,61	5,12	10,02	3,40
11	7779657,40	536436,79	775,48	7779655,18	536430,54	773,27	-2,22	-6,25	6,63	2,21
12	7779689,49	537939,12	818,33	7779689,01	537916,18	818,50	-0,48	-22,94	22,95	0,17
Média dos erros planimétricos									14,69	
Desvio padrão planimétrico									7,88	
Média dos erros altimétricos										3,13
Desvio padrão altimétrico										3,63

4.3.1.1 Teste de normalidade

a) ordenar crescentemente os valores das discrepâncias (tabela 14 coluna 2);

b) calcular a probabilidade acumulada p_{acum} (tabela 14 coluna 3);

$$p(j) = (j-1/2) / n$$

c) determinar z conforme tabelas da distribuição normal (tabela 14 coluna 4);

TABELA 14: ETAPAS NO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO r PARA PLANIMETRIA – TESTE 3

Nº pontos	X	p _{acum.}	Z tabelado	X.Z	X ²	(Σ X) ²	Z ²	(Σ Z) ²
10	3,46	0,05	-1,64	-5,6744	11,9716		2,6896	
	6,63	0,15	-1,04	-6,8952	43,9569		1,0816	
	8,45	0,25	-0,67	-5,6615	71,4025		0,4489	
	8,89	0,35	-0,39	-3,4671	79,0321		0,1521	
	10,02	0,45	-0,13	-1,3026	100,4004		0,0169	
	19,78	0,55	0,13	2,5714	391,2484		0,0169	
	20,91	0,65	0,39	8,1549	437,2281		0,1521	
	21,25	0,75	0,67	14,2375	451,5625		0,4489	
	22,95	0,85	1,04	23,8680	526,7025		1,0816	
	24,55	0,95	1,64	40,2620	602,7025		2,6896	
Σ	146,89		0	66,0930	2716,2075	21576,6721	8,7782	0

d) Calcular o coeficiente de correlação dado pela (3.1);

$$r = \text{correl}(X_i, Z_i) = \frac{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Z_i) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right) \right]}{\sqrt{\left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{660,93}{\sqrt{490297,8374}} \Rightarrow r = 0,943$$

e) determinar coeficiente de correlação tabelado r_{tab} ;

conforme tabela de Filliben, para $n = 10$ e $\alpha = 0,1$

coeficiente de correlação $r_{tab} = 0,934$

Comparando o coeficiente de correlação calculado $r = 0,943$, com o coeficiente de correlação tabelado $r_{tab} = 0,934$, conclui-se que a distribuição é considerada normal, pois $r = 0,940 > r_{tab} = 0,934$.

f) construção do gráfico *Q.Q Plot* (figura 40).

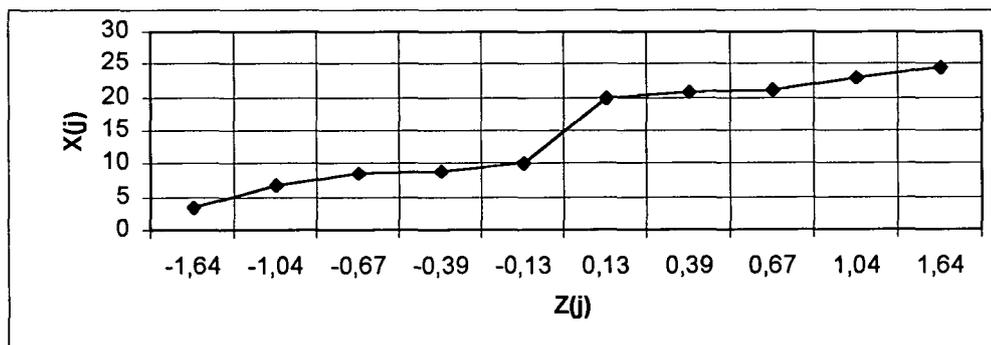


Figura 40: gráfico *Q.Q Plot* para planimetria – teste 3

Pela análise do gráfico a distribuição se apresenta normal, corroborando a análise do coeficiente de correlação feita anteriormente. Verifica-se uma pequena discrepância, mas no aspecto geral os pontos se distribuem aproximadamente como uma reta.

4.3.1.2 Avaliação da acurácia

A estimação da média populacional μ a partir da média amostral \bar{x} , sendo o desvio padrão populacional σ desconhecido é dada pela (4.1).

Dados:

média amostral $\bar{x} = 14,69$ m

desvio padrão amostral $s = 7,88$ m

média populacional $\mu = ?$

intervalo de confiança I.C = 90% (figura 41)

graus de liberdade $\nu = n-1$; $\nu = 10 - 1$; $\nu = 9$

conforme tabelado, $t_{\alpha} = 1,38$

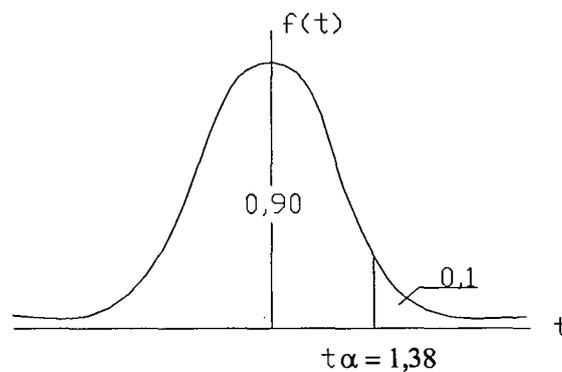


Figura 41: intervalo de confiança de 90% para o teste 3 - planimetria

construção do intervalo unilateral

$$\mu \leq 14,69 + (1,38) \cdot \left(\frac{7,88}{\sqrt{10}} \right) \Rightarrow \mu \leq \mathbf{18,13}$$

Ou seja, a média μ estimada da população é inferior a **18,13 m** no intervalo de confiança de 90%.

Para a classificação nos padrões A, B ou C, tem-se como erro máximo permitido 0,5 mm, 0,8 mm e 1,00 mm que correspondem respectivamente a 5 m, 8 m e 10 m no terreno na escala 1:10 000, portanto inferiores à maior média possível para o intervalo determinado.

Na verificação para a classe A, faz-se um teste de hipótese onde se confronta a hipótese $H_0: \mu \leq 5$ m com a hipótese $H_1: \mu > 5$ m com um nível de significância de 10%. Rejeitando-se a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 . Para o teste usa-se a (4.2).

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \mu \leq 5 \text{ m}$
- 2) $H_1: \mu > 5 \text{ m}$
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 42)
- 5) Cálculo da estatística t

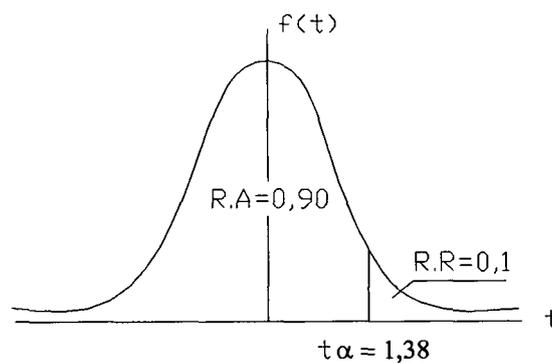


Figura 42: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe A

e a sua resolução

$$t = \frac{(14,69 - 5)}{\frac{7,88}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 3,89$$

conforme tabela $t_\alpha = 1,38$

Conclusão

Como $t = 3,89 > t_\alpha = 1,38$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é maior que 5 m, portanto acima do erro máximo permitido para a classe A.

Na impossibilidade de classificação em carta padrão A, passa-se a analisar as tolerâncias para a classe B, que tem como erro máximo permitido 0,8 mm na escala da carta que corresponde a 8 m no terreno na escala 1:10 000, portanto inferior a 18,13 m e passível de classificação a partir da confirmação pelo teste de hipótese.

O teste aplicado é análogo ao anterior, divergindo apenas na tolerância admitida para o erro médio.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \mu \leq 8 \text{ m}$
- 2) $H_1: \mu > 8 \text{ m}$
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (Figura 43)
- 5) Cálculo da estatística t

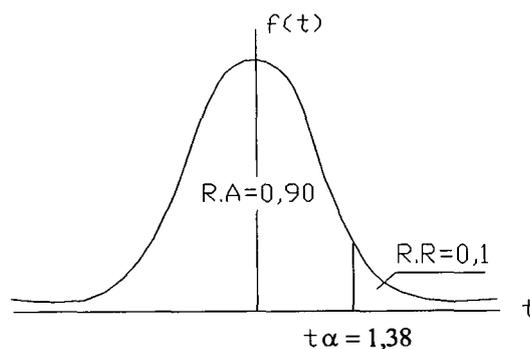


Figura 43: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe B

e a sua resolução

$$t = \frac{(14,69 - 8)}{\frac{7,88}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 2,68$$

conforme tabela $t_{\alpha} = 1,38$

Conclusão

Como $t = 2,68 > t_{\alpha} = 1,38$, a hipótese H_0 é rejeitada ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é maior ou igual a 8 m no intervalo considerado, portanto superior ao erro máximo permitido para a classe B.

Para classificação na classe C, analisa-se o erro máximo permitido de 1,0 mm na escala da carta que corresponde a 10 m no terreno na escala 1:10 000, portanto inferior a 18,13 m.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \mu \leq 10 \text{ m}$
- 2) $H_1: \mu > 10 \text{ m}$
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 44)
- 5) Cálculo da estatística t

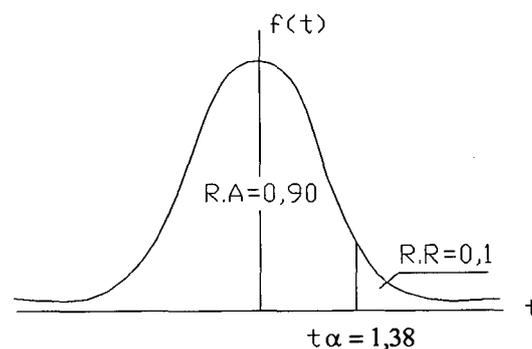


Figura 44: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe C

e a sua resolução

$$t = \frac{(14,69 - 10)}{\frac{7,88}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 1,88$$

conforme tabela $t_{\alpha} = 1,38$

Conclusão

Como $t = 1.88 > t_{\alpha} = 1,38$, a hipótese H_0 é rejeitada ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é maior ou igual a 10 m no intervalo considerado, portanto superior ao erro máximo permitido para a classe C, não permitindo a classificação em acurácia nesta classe.

4.3.1.3 Avaliação da precisão

Avalia-se precisão com base no exposto na seção 2.5 e estima-se o desvio padrão populacional σ a partir do desvio padrão amostral s pela (4.3).

Dados:

média amostral $\bar{x} = 14,69$ m

desvio padrão amostral $s = 7,88$ m

desvio padrão populacional $\sigma = ?$

intervalo de confiança I.C = 90%

graus de liberdade $\nu = n - 1$; $\nu = 10 - 1$; $\nu = 9$

conforme tabelado, $\chi^2_{\alpha} = 14,684$ ($\nu = 9$, $p = 0,10$)

$\chi^2_{1-\alpha} = 4,168$ ($\nu = 9$, $p = 0,90$)

construção do intervalo unilateral

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(10-1) \cdot 7,88^2}{4,168}} \Rightarrow \sigma \leq 11,58$$

Ou seja, o desvio padrão σ estimado da população é inferior a **11,58 m** no intervalo de confiança de 90%.

Para classificar nos padrões A, B ou C, tem-se como erro máximo permitido 0,3 mm, 0,5 mm e 0,6 mm que corresponde respectivamente a 3 m, 5 m e 6 m no terreno na escala 1:10 000, portanto inferiores ao maior desvio possível para o intervalo determinado.

Na verificação para a classe A, faz-se um teste de hipótese onde se confronta a hipótese $H_0: \sigma^2 \leq 3^2$ m com a hipótese $H_1: \sigma^2 > 3^2$ m com um nível de significância de 10%. Rejeitando-se a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 . Para o teste usa-se a (4.4).

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \sigma^2 \leq 3^2$ m
- 2) $H_1: \sigma^2 > 3^2$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 45)
- 5) Cálculo da estatística χ^2

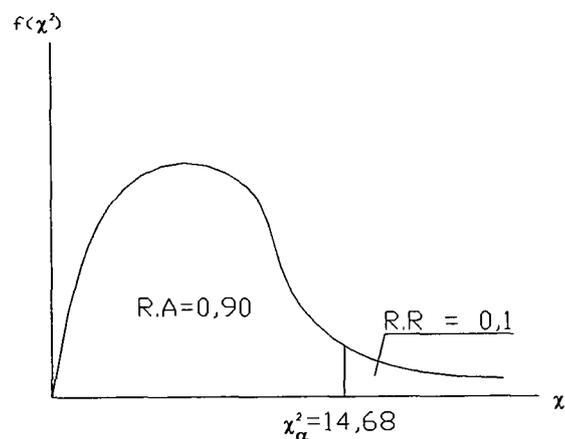


Figura 45: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe A

$$\chi^2 = \frac{(10-1)7,88^2}{3^2} \Rightarrow \chi^2 = 62,09$$

conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 62,09 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional é maior que 9 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 3 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe A.

Na impossibilidade de classificação na classe A, avalia-se possibilidade de classificação na classe B, fazendo-se o seguinte teste de hipótese:

Confronto da hipótese $H_0: \sigma^2 \leq 5^2$ m com a hipótese $H_1: \sigma^2 > 5^2$ m com um nível de significância de 10%. Para o teste usa-se a (4.4).

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \sigma^2 \leq 5^2$ m
- 2) $H_1: \sigma^2 > 5^2$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 46)
- 5) Cálculo da estatística χ^2

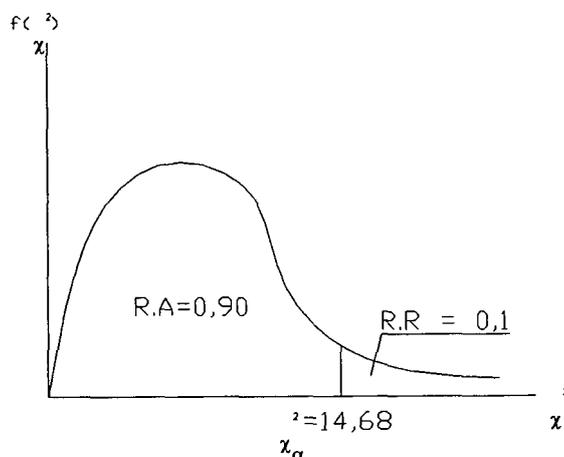


Figura 46: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe B

e a sua resolução

$$\chi^2 = \frac{(10-1)7,88^2}{5^2} \Rightarrow \chi^2 = 22,35$$

conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 22,35 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$ rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional é maior que 25 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 5 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe B.

Resta a classe C que admite desvios de até 6 m. Analogamente aos testes anteriores é formulada a hipótese, diferenciando apenas no valor do desvio padrão.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \sigma^2 \leq 6^2$ m
- 2) $H_1: \sigma^2 > 6^2$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 47)
- 5) Cálculo da estatística χ^2

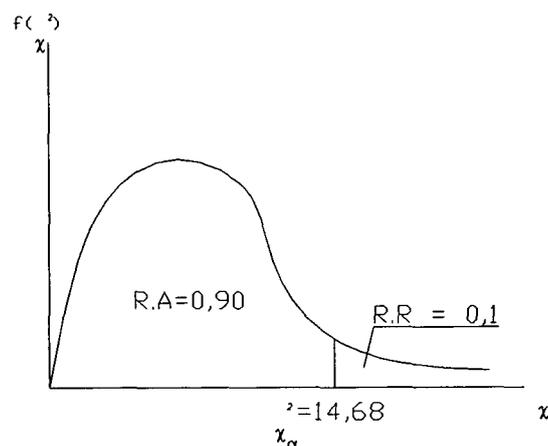


Figura 47: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe C

e a sua resolução

$$\chi^2 = \frac{(10-1)7,88^2}{6^2} \Rightarrow \chi^2 = 15,52$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 15,52 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional é maior que 36 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 6 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe C.

Apurados os valores para a média, conclui-se que a carta digital impressa não pode ser classificada em acurácia, pois apresenta discrepâncias dos valores "verdadeiros" obtidos de campo superiores às tolerâncias estabelecidas pelo decreto para as classes A, B e C.

Quando se analisa precisão, a carta digital impressa apresenta desvios superiores aqueles estabelecidos pelo Decreto, não permitindo desta forma classificá-la em A, B ou C, conforme prevê o Decreto, isto é, não apresenta coerência entre suas feições.

Em termos de qualidade planimétrica pode-se dizer que a carta digital impressa é inapropriada, pois apresenta discrepâncias acima dos limites toleráveis, tanto em acurácia quanto em precisão.

4.3.2 Altimetria

Pelos motivos expostos na seção 3.10.2, a análise da acurácia não foi possível de ser executada, mas testes de precisão podem ser conduzidos desde que se verifique a normalidade da distribuição.

4.3.2.1 Teste de normalidade

Os passos são idênticos aos apresentados na seção 3.10.1, diferenciando-se apenas nos valores das discrepâncias tomadas para análise.

Os dados são apresentados na tabela 15 e materializados no gráfico da figura 48.

TABELA 15: ETAPAS NO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO r PARA ALTIMETRIA – TESTE 3

Nº pontos	X	p _{acum.}	Z _{tabelado}	X.Z	X ²	(ΣX) ²	Z ²	(ΣZ) ²
10	0,17	0,05	-1,64	-0,2788	0,0289		2,6896	
	0,25	0,15	-1,04	-0,2600	0,0625		1,0816	
	0,67	0,25	-0,67	-0,4489	0,4489		0,4489	
	0,68	0,35	-0,39	-0,2652	0,4624		0,1521	
	2,05	0,45	-0,13	-0,2665	4,2025		0,0169	
	2,21	0,55	0,13	0,2873	4,8841		0,0169	
	2,54	0,65	0,39	0,9906	6,4516		0,1521	
	3,40	0,75	0,67	2,2780	11,5600		0,4489	
	8,68	0,85	1,04	9,0272	75,3424		1,0816	
	10,64	0,95	1,64	17,4496	113,2096		2,6896	
Σ	31,29		0	28,5133	216,6529	979,0641	8,7782	0

$$r = \text{correl}(X_i, Z_i) = \frac{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (X \cdot Z) - \left(\sum_{i=1}^n X \right) \left(\sum_{i=1}^n Z \right) \right]}{\sqrt{\left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n X^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X \right)^2 \right] \left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n Z \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{285,133}{\sqrt{104238,0439}} \Rightarrow r = 0,883$$

conforme tabela de Filliben, para $n = 10$ e $\alpha = 0,1$

coeficiente de correlação $r_{\text{tab}} = 0,934$

Comparando o coeficiente de correlação calculado $r = 0,883$ com o coeficiente de correlação tabelado $r_{\text{tab}} = 0,934$, conclui-se que a distribuição não é considerada normal, pois $r = 0,883 < r_{\text{tab}} = 0,934$.

Construção do gráfico *Q.Q Plot*

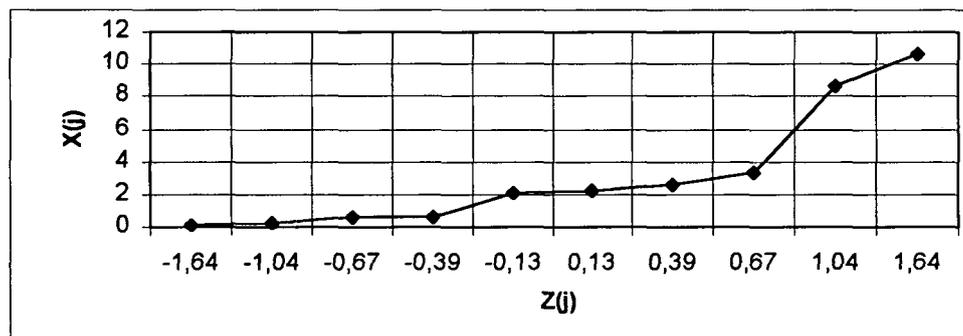


Figura 48: gráfico *Q.Q Plot* para altimetria – teste 3

Pelas discrepâncias verificadas, os dados representados no gráfico não se comportam como uma normal, pois sua distribuição não se apresenta aproximadamente como uma reta, corroborando a análise anterior.

A não normalidade da distribuição remete à opção explícita na seção 3.10.1) e assim descarta-se qualquer classificação para o quesito analisado.

Em termos de precisão a carta digital impressa foi rejeitada, pois não apresenta confiabilidade em suas posições altimétricas, quando analisadas à luz do Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.

4.3.3 Classificação da carta digital impressa

Após a classificação esta deverá constar no rodapé da carta digital impressa.

4.3.3.1 Planimetria

Acurácia: fora de padrão – posições com erros médios superiores à tolerância estabelecida.

Precisão: fora de padrão – posições com dispersão em torno da média acima da tolerância estabelecida.

Classificação planimétrica:

carta sem classificação, conforme padrões especificados pelo Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

4.3.3.2 Altimetria

Acurácia: fora de padrão – erro médio superior à tolerância estabelecida.

Precisão: fora de padrão – dispersão superior à tolerância estabelecida.

Classificação altimétrica:

carta sem classificação, conforme padrões especificados pelo Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

4.4 Análise dos resultados do teste 1

O teste 1 compara os valores obtidos da carta gráfica e os seus correspondentes obtidos em campo por levantamento GPS e considerados como "verdade" topográfica.

As diferenças planimétricas apuradas apontam uma amplitude significativa entre a menor diferença encontrada (2,09 m no ponto 1 e 25,79 m no ponto 5) que se reflete no elevado desvio padrão encontrado. Tomando as diferenças pelo valor médio 10,97 m e considerando o desvio padrão de 8,06 m, tem-se uma amplitude de 16,12 m, ou seja, na média os erros estão contidos no intervalo de 2,91 m até 19,03 m.

A classificação em acurácia apontou para uma carta de classe B, portanto com erros médios inferiores a 8 m para o intervalo de confiança de 90% .

As maiores divergências ocorreram nos pontos 5 (25,79 m), 2 (22,45 m), 6 (16,92 m) e 9 (10,67 m) e pelas suas localizações mostram que não há tendenciosidade nas ocorrências, pois a localização destes não se converge para uma região específica, pelo contrário, estão distribuídos em pontos dispersos sobre a carta gráfica.

Considerando os pontos de campo coerentes com a realidade física, conforme abordado na seção 3.7, pode-se dizer que os erros apurados são oriundos dos processos construtivos da base cartográfica, que vão desde o conjunto de procedimentos adotados para restituição até a deformação introduzida pela copiagem em *polyester*, passando pelos erros introduzidos no processo convencional de desenho no qual a base foi submetida.

Para a análise da precisão são consideradas as dispersões que ocorrem em torno da média e que são modeladas pelo desvio padrão. Na carta gráfica o desvio padrão de 8,06 m denota uma dispersão acentuada quando considerados os valores máximos permitidos para o desvio previsto no Decreto 89.817, que para a pior classificação (classe C) admite um desvio de 6 m.

A impossibilidade de classificação no quesito precisão, leva a desqualificação da carta gráfica, pois admite-se que imprecisão implica em falta de acurácia, apesar da acurácia ser suficiente para classificação na classe B. Por isso, um ponto mesmo estando com erro aceitável em relação à "verdade" topográfica, pode apresentar um erro não aceitável em relação ao seu vizinho que tem as mesmas características. A composição de erros afetando a precisão é possível, por que estes podem ocorrer em direções contrárias quando se considera duas ou mais posições planimétricas.

O teste de acurácia altimétrica não foi realizado nesta etapa, pois a priori foram detectadas incertezas que conduzem a desclassificação do quesito avaliado. Estas incertezas são oriundas da interpolação do mapa geoidal e ainda pela não ocupação de um ponto de altitude h conhecida e comprovada, preferencialmente por nivelamento geométrico, tal como discutido na seção 4.1.2.

A avaliação da precisão pode ser satisfatória quando o importante é a coerência entre os pontos altimétricos, independentemente de estarem em acordo com a realidade física. Esta situação torna-se adequada a projetos onde as diferenças de nível entre as feições seja suficiente para as análises, mas deve ser vista com cautela quando se necessita trabalhar em áreas que exigem articulações com outros levantamentos, conforme discutido na seção 2.7.

A comprovação da não normalidade da distribuição dada pelo teste do coeficiente de correlação, não permitiu porém a classificação em precisão, comprometendo ainda mais a classificação altimétrica.

Mesmo tendo grande magnitude, os erros poderiam estar coerentes entre si, mas o que ocorre não confirma esta hipótese, pois a não normalidade da distribuição aponta a presença de erros afetando pontos distribuídos em áreas diversas da carta gráfica.

Estes erros quando comparados aos valores previstos pelo Decreto (3,8 m para a pior classificação – C), se destacam em pontos isolados, como por exemplo aqueles apurados nos pontos 9 (10,58 m), 3 (8,68 m) e 10 (3,30 m).

Chama-se a atenção para a ocorrência do erro de 8,68 m no ponto 3, pois este se situa na superfície definidora da curva de nível, portanto com altitude h lida coincidente com a curva e sem necessidade de interpolação.

Também o ponto 9 apresenta um erro considerado grande, pois a altitude h levantada em campo fica fora do intervalo das curvas que o contém, visto que possui altitude h determinada em campo de 854,65 m e as curvas que o envolvem têm altitude h de 840,00 m e 845,00 m.

A classificação da carta gráfica indica um material de baixa qualidade tanto em planimetria quanto em altimetria, pois apesar de acurada planimetricamente para a classe B apresenta desvios superiores aqueles previstos no Decreto 89.817. Em altimetria, a baixa qualidade se confirma de forma mais acentuada, pois os dados de campo apresentam a priori incertezas suficientes para desclassificação do quesito acurácia. Assim também, pode-se a priori desclassificar sumariamente o quesito precisão, pois os dados altimétricos se apresentam como uma distribuição não normal, o que leva a desclassificação, conforme visto na seção 3.10.1.

4.5 Análise dos resultados do teste 2

O teste 2 se baseia nos dados lidos do arquivo digital e os seus correspondentes obtidos pelo levantamento de campo e considerados como "verdade" topográfica

Assim como no teste 1, algumas diferenças planimétricas apuradas apresentam erros considerados grandes, quando comparados ao PEC admissível para a pior classificação (10 m para classe C), como é o caso dos pontos 5 (26,09 m), 2 (23,43 m), 6 (15,76 m), 9 (12,09 m) e 10 (11,87 m).

A análise do quesito acurácia, permitiu enquadrar o arquivo digital na classe C, portanto inferior a mesma classificação no teste 1 onde a carta gráfica obteve classificação B.

Observa-se que os erros apurados no teste 2 apresentam valores semelhantes aos apurados no teste 1, sendo que, a maior divergência se dá no ponto 10, onde ocorreu um erro de 6,88 m para o primeiro teste e 11,87 m para o segundo. Os pontos apontados como maiores portadores de erros no teste 1 também se mantiveram nesta posição quando submetidos ao teste 2.

Apesar da coerência dos erros apurados nos dois testes, o arquivo digital foi considerado acurado para a classe C, portanto inferior a classificação da carta gráfica. Isto pode ser atribuído à introdução de erros pelo processo de digitalização, que vão desde orientação da carta gráfica sobre a mesa digitalizadora até os erros introduzidos pelo operador.

A elevada dispersão (7,88 m) em torno do erro médio desclassifica o arquivo no quesito precisão, o que implica assim como no teste 1, considerar o arquivo digital como planimetricamente inadequado.

Pelos motivos expostos na avaliação do teste 1, o teste de acurácia altimétrica não foi realizado, assim como o teste de precisão altimétrica não foi executado devido à não normalidade da distribuição.

Assim como no teste 1, o arquivo digital tanto em planimetria quanto em altimetria foi também considerado de baixa qualidade. O resultado era previsível, pois na melhor das hipóteses seria gerado um arquivo digital com classificação igual a classificação do documento fonte.

4.6 Análise dos resultados do teste 3

O teste 3 compara os valores obtidos da carta digital impressa e os seus correspondentes obtidos em campo por levantamentos GPS e considerados como "verdade" topográfica.

Em planimetria os erros se acentuaram, principalmente nos pontos localizados na extremidade direita da carta digital impressa, como é o caso dos pontos 12 (22,95 m), 7 (19,78 m) e 3 (8,89 m) que no arquivo digital tinham erros de 9,30 m, 9,34 m e 3,36 m respectivamente. Observou-se erro cumulativo culminando na extremidade direita da carta digital impressa numa diferença de aproximadamente 2 mm na escala da carta, o que equivale a 20 m no terreno da escala considerada.

Falhas no equipamento de impressão são apontadas como a fonte causadora destes erros cumulativos, pois a degradação mais acentuada se verificou exatamente no processo de saída, visto que o arquivo digital e a carta gráfica apesar de classificação diferente, apresentaram coerência nas feições armazenadas.

A acurácia planimétrica foi avaliada, mas não foi possível enquadrar a carta em nenhuma das classes previstas, ou seja, a média dos erros apurados é superior ao valor estabelecido como aceitável pelo Decreto (10,00 m para a classe C).

Em precisão, como nos testes anteriores não houve classificação, pois o desvio observado também excedeu aos limites permissíveis (6,00 m para classe C) impostos pelo Decreto.

Altimetricamente ocorreu no teste 3, situação semelhante aos testes anteriores, pois não foi realizado o teste de acurácia altimétrica, devido às incertezas dos dados de campo. O teste de precisão altimétrica também não foi realizado, devido a presença de

erros perturbadores em diversos pontos, e que contribuíram para a não normalidade da distribuição, e conseqüentemente, para sua antecipada desclassificação.

A carta digital impressa foi considerada planimétrica e altimetricamente inapropriada, assim como as cartas analisadas nos testes 1 e 2, com o agravante de não apresentar classificação em acurácia.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação da base cartográfica em questão não fornece subsídios suficientes para julgar os demais trabalhos produzidos pelo IGA, visto que se trata de uma única amostra no universo de trabalhos ali produzidos, o que não permite fazer qualquer tipo de inferência neste sentido. Portanto, a avaliação se refere unicamente ao produto analisado.

É preciso atentar porém para o problema detectado, pois a má qualidade do produto analisado pode ser um indicativo de falhas nos processos de produção de bases cartográficas, e que requeira uma revisão em todos os aspectos de produção envolvidos e apontados na análise de qualidade proposta neste trabalho.

As fontes geradoras de erros devem ser revistas, passando pela qualidade do material utilizado para restituição até a calibração de instrumentos utilizados na produção da base e principalmente na saída da carta digital impressa, onde se registrou diferenças significativas no arquivo impresso por *plotter*.

Uma questão a ser repensada trata-se da obtenção de altitudes h com GPS, pois enfrenta-se o inconveniente de não trabalhar com um mapa geoidal que possibilite uma interpolação mais detalhada.

Para escalas grandes onde as curvas de nível são representadas em intervalos menores, este se torna um problema, pois não é possível obter valores aceitáveis para acurácia quando se tem pequenos intervalos entre curvas e pequena confiabilidade nos dados altimétricos obtidos pela interpolação geoidal.

Para análise em pequenas escalas (1:50 000, 1:100 000 e menores), a incerteza introduzida pela interpolação geoidal pode não ser significativa, cabendo ao planejador avaliar e decidir em adotar os valores interpolados como confiáveis para a análise de qualidade proposta.

Quando se trata de áreas reduzidas, torna-se recomendável ocupar RRNN de altitudes h conhecidas e comprovadas por nivelamento de precisão, pois a ocupação de pontos de altitude comprovada permitiriam modelar um geóide local e levaria a resultados satisfatórios.

As facilidades proporcionadas pelo sistema de posicionamento GPS direcionam para uma composição favorável na relação custo x benefício, e por isso, recomenda-se coletar um maior número de pontos em campo visando dar mais flexibilidade às análises estatísticas.

Amostras superiores a 30 pontos seriam mais adequadas, pois nestas a distribuição amostral das médias poder ser tratada pela distribuição normal, mesmo que a distribuição não se comporte como tal, o que facilita em muito a aplicação dos testes estatísticos, além de revestirem de maior confiabilidade as inferências feitas a partir delas.

As leituras efetuadas na carta gráfica e na carta digital impressa se tornaram um ponto crítico na execução deste trabalho, pois requereram a utilização de um equipamento que permitisse leituras ao centésimo do milímetro, visto que 1 décimo de milímetro na escala poderia conduzir a um erro de 1 m no terreno na escala da carta, comprometendo assim a análise proposta.

A opção para executar estas medidas se concretizou pela utilização de um coordenatógrafo de mesa, que apesar de proporcionar leituras nos níveis desejados se

revela um instrumento de difícil manuseio, pouca flexibilidade e com sistemas mecânicos bastante rudimentares e obsoletos. A utilização de equipamentos mais modernos que proporcionem os mesmos padrões de leitura é recomendada.

A adoção de critérios adequados e uniformes para a entrada de dados na digitalização é fundamental, pois proporciona ganhos na edição e coerência da informação representada com a informação armazenada, possibilitando desta forma sua utilização tanto em processos analógicos convencionais quanto naqueles que se utilizam da informação espacial em meio digital.

Em resumo, recomenda-se:

1. Utilizar da metodologia proposta, pois os testes estatísticos apresentados se confirmaram mais flexíveis e tão eficientes quanto a proporção amostral simples implícita no Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.
2. Criar um programa computacional que incorpore a metodologia proposta
3. Coletar número maior de pontos em campo devido as facilidades oferecidas pelo sistema de posicionamento GPS e os ganhos proporcionados na análise estatística.
4. Fazer uso de instrumentos mais modernos e que permitam obter leituras nos mesmos níveis ou melhores que os apresentados pela leitura no coordenatógrafo de mesa.

5. Criar uma rotina de procedimentos para todas as fases envolvidas no processo de produção da base, desde a restituição ou levantamento até as etapas de armazenamento em meio digital, permitindo detectar ocorrências de erros em etapas distintas.
6. Implantar e estabelecer uma rotina de classificação de todas as bases cartográficas geradas pelo IGA .
7. Fazer constar no rodapé dos produtos analisados as inscrições decorrentes da classificação, para que o usuário conheça qualidades e restrições e decida por utilizar ou não o produto em questão.
8. Difundir as análises de qualidade propostas neste trabalho, principalmente aos usuários nos demais órgãos que manipulam bases cartográficas em suas diversas áreas de atuação do Estado de Minas Gerais.
9. Calibrar os equipamentos de entrada e principalmente de saída para os arquivos digitais, e com isso fazer constar no documento os coeficientes de correção porventura determinados pela calibração.
10. Adotar critérios para a entrada de dados na digitalização, garantindo a uniformidade da informação representada e a informação armazenada.

ANEXO I

Excertos do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

A atual legislação cartográfica nacional

Na proposição de se padronizar e avaliar etapas e processos torna-se necessário estabelecer normas e procedimentos a serem seguidos.

Apesar de consideradas muito rígidas por alguns, as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, prevista no Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, estabelece parâmetros para que se avalie e produza uma cartografia de qualidade compatível com padrões internacionais. No seu Artigo 2º está explícito:

"As Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional se destinam a estabelecer procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de normas da Cartografia Nacional, bem como padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas" (BRASIL, 1994).

CAPÍTULO II

Especificações Gerais

SEÇÃO 1

Classificação de uma Carta Quanto à Exatidão

Art 8º - As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, segundo o critério abaixo indicado:

1 - 90% (noventa por cento) dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: estabelecido;

2 - 90% (noventa por cento) dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: estabelecido.

§ 1º - Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% (noventa por cento) de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

§ 2º - A probabilidade de 90% (noventa por cento) corresponde a 1,6449 vezes o Erro - Padrão - PEC = 1,6449 EP.

§ 3º - O Erro - Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

§ 4º - Para efeito das presentes instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro - Padrão, Desvio - Padrão e Erro - Médio - Quadrático.

SEÇÃO 2

Classes de Carta

Art. 9º As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes <<A>>, <> e <<C>>, segundo os critérios seguintes:

a) Classe <<A>>:

1 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,5 mm na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro - Padrão correspondente;

2 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo 1/3 (um terço) desta equidistância o Erro - Padrão correspondente.

b) Classe <>:

1 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,8 mm na escala da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro - Padrão correspondente;

2 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: 3/5 (três quintos) da equidistância entre as curvas de nível, sendo 2/5 (dois quintos) o Erro - Padrão correspondente.

c) Classe <<C>>:

1 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro - Padrão correspondente;

2 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: 3/4 (três quartos) da equidistância entre as curvas de nível, sendo de metade desta equidistância o Erro - Padrão correspondente.

Art. 10. É obrigatória a indicação da classe no rodapé da folha, ficando o produtor responsável pela fidelidade da classificação.

Parágrafo único. Os documentos cartográficos, não enquadrados nas classes especificadas no artigo anterior, devem conter no rodapé da folha a indicação obrigatória do Erro - Padrão verificado no processo de elaboração.

Art. 11. (...)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de Levantamento Topográfico**, NBR 13133. Rio de Janeiro, 1994.

ANDRADE, D. F. P. N. Avaliação da Exatidão de Documentos Cartográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 44, p. 8-11, 1991.

ANTUNES, A. F. B. & LINGNAU, C. Uso de Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas Temáticos Obtidos por Meio de Classificação Digital. In: **III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento**. Curitiba, p. s/n, 1997.

ARIAS, C. I. C. Cartografia digital. **Revista Cartográfica**, México, n. 60, p. 89-104, 1991.

ARONOFF, S. Classification Accuracy: A User Approach. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 48, n. 8, p. 1299-1307, 1982-a.

ARONOFF, S. The Map Accuracy Report: A User's View. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 48, n. 8, p. 1309-1312, 1982-b.

BERTIN, J. **Semiology of Graphics**, Trad. William J. Berg, London: The University of Wisconsin, 1983.

BRAGA JUNIOR, R. L. C. **Estudo Sobre a Distribuição do n no Dimensionamento de Amostras**, Piracicaba, 1986. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

BRASIL. Decreto nº 89 817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 120, p. 8884-8886, 22 jun. 1984.

BRITO, J. L. N. S. Proposta de Metodologia para a Classificação de Documentos Cartográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 41, p. 27-42, 1987.

CROSTA, A. P. & GUIMARÃES FILHO, H. A. Digitalização de Mapas: Um Roteiro. **Revista Fator GIS**, Curitiba, n. 04, p. 35-39, 1994.

FILLIBEN, J. J. The Probability Plot Correlation Coefficient Test for Normality. **Technometrics**, Washington, v. 17, n. 1, p. 111-117, 1975.

GAGG, G. **Auscultação Gravimétrica na Região da Barragem Bento Munhoz da Rocha**. Curitiba, 1997. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Universidade Federal do Paraná.

GALO, M. & CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no Controle de Qualidade Cartas.

In: **1^o Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis, p. 41-48, 1994.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**.

1. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1994.

GINEVAN, M. E. Testing Land-Use Map Accuracy: Another Look. **Photogrammetric**

Engineering & Remote Sensing, Falls Church, v. 45, n. 10, p. 1371-1377, 1979.

HELENE, O. A. M. & VANIN, V. R. **Tratamento Estatístico de Dados em Física**

Experimental. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.

IBGE. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (coletânea de normas vigentes). Diretoria de Geociências: Rio de Janeiro, 1996.

JACKSON, M. J & WOODSFORD, P. A. GIS Data Capture Hardware and software.

In: MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.; RHIND, D. **Geographical Information System: Principles and Applications**. London: Longman Scientific & Technical, 1991. p. 239-249.

MITISHITA, E.A . **Monorestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica C.A.D., para fins de mapeamento na área florestal**. Curitiba,

1997. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná.

NOVAES, J.R.D. Teste de Cartas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 02, p. 18-22, 1971.

OLIVEIRA, C. **Dicionário Cartográfico**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

ÖSTMAN A. The Specification and Evaluation of Spatial Data Quality. In: **18th ICA/ACI international Cartographic Conference**. Stockholm, v. 4, p. 836-847, 1997.

PELZER, H. Genauigkeit, Meßunsicherheit, Toleranz: sprechen Geodäten, Meßtechniker und Bauingenieure noch - oder wieder - eine gemeinsame Sprache ?. **Zeitschrift Für Vermessungswesen**, Hannover, n. 12, p.574-577, 1983.

RAMIREZ, J. R. Computer-Aided Mapping System: The Next Generation. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v. 57, n. 1, p. 85-88, 1991.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro, 1992.

VIANNA, C. R. F. ; OLIVEIRA, L. C. ; FERREIRA, L. F. , Representação Cartográfica em Meio Digital. Cuidados a Serem Tomados. In: **III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento** . p. s/n, Curitiba, 1997.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da Teoria dos Erros**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

WONNACOTT, T. H & WONNACOTT. **Introdução á Estatística**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e Científicos, 1980.

YEU, B.; KWON, H.; LEE, S.; SHIN, D. Statistical Test for Evaluation of the Accuracy of Digital Maps for Geo-spatial. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Vienna, v. XXXI, Part B2, p. 411-414, 1996.

ÍNDICE REMISSIVO

A

acurácia altimétrica 108, 110, 111
 acurácia planimétrica....x, xi, 65, 66, 81,
 82, 83, 96, 97, 98, 111
 acurácia posicional 2
 altimetria....viii, x, xi, 37, 53, 73, 74, 75,
 89, 90, 104, 105, 109, 110
 análise da acurácia.....25, 89, 103
 análise da precisão..... 107
 apoio de campo..... 15
 área de estudo 28, 29, 31, 32, 39
 área de rejeição 65
 arquivo digital....viii, x, xiv, xv, 27, 40,
 41, 47, 54, 55, 76, 77, 87, 88, 89, 91,
 92, 109, 110, 111
AutoCAD....6, 11, 27, 39, 40, 41, 43,
 44, 45, 46, 47, 52
 avaliação de acurácia.. 17, 62, 72, 79, 94
 avaliação de precisão..... 67, 84, 99, 108

B

baixa qualidade 109, 110
 base cartográfica....xv, 3, 5, 13, 27, 39,
 107, 113, 116

C

carta acurada e imprecisa 19, 20
 carta acurada e precisa 19, 20
 carta digital impressa....viii, xv, 27, 34,
 56, 92, 103, 105, 111, 112, 113, 114
 carta gráfica....viii, 11, 27, 34, 35, 36,
 42, 48, 49, 54, 60, 72, 75, 76, 92,
 106, 107, 108, 109, 110, 111, 114
 carta não acurada e imprecisa..... 19
 carta não acurada e precisa..... 19, 20
 Cartografia Apoiada por Computador
 (CAC).....xii, 3
 cartografia convencional..... 4
 cartografia de qualidade 118
 cartografia digital 1, 2, 5, 120
 cartografia oficial 1
 classe A....x, xi, 21, 64, 65, 68, 69, 70,
 80, 81, 85, 86, 95, 96, 100, 101

classe B....x, xi, 21, 65, 66, 67, 70, 71,
 81, 82, 86, 87, 96, 97, 98, 101, 102,
 106, 107, 109
 classe C....x, xi, 21, 71, 72, 83, 84, 87,
 88, 98, 99, 102, 103, 107, 109, 110,
 111
 classificação altimétrica....76, 91, 106,
 108
 classificação em acurácia....22, 67, 73,
 82, 84, 99, 106, 112
 classificação em precisão22, 73, 108
 classificação planimétrica.....76, 91, 106
 coeficiente de correlação r....viii, 56, 57,
 58, 61, 62, 74, 75, 78, 79, 89, 90, 93,
 94, 104, 108
 coerência interna 19, 20, 25
 coleta de dados 4, 27, 73
 Comissão Nacional de Cartografia
 (CONCAR).....xii, 39
Computer Aided Design (CAD)....xii, 5,
 6, 43
 controle de qualidade....14, 15, 16, 17,
 122
 coordenada Este.....xiii, 36
 coordenada Nortexiii, 33
 coordenadas UTMviii, 11, 28, 33
 coordenatógrafo....27, 34, 35, 54, 114,
 115
 curvas de nível....11, 30, 40, 42, 43, 52,
 53, 73, 113, 118, 119
 custo de produção..... 14
 custo x benefício 114

D

dados de campo xv, 30, 77, 109, 111
 dados primários..... 4
 dados secundários 4
datum.....28, 29, 33
Datum..... xii
 Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984
 2, 20, 22, 53, 60, 75, 76, 91, 92, 103,
 105, 107, 108, 109, 111, 115, 117,
 118, 121

desvio padrão...xiv, 13, 14, 19, 59, 60,
62, 63, 64, 67, 68, 69, 71, 72, 77, 79,
84, 86, 87, 88, 92, 94, 99, 101, 102,
103, 106, 107

digitalização...ix, xv, 5, 6, 10, 11, 12,
27, 39, 40, 43, 54, 56, 76, 110, 115,
116

digitalizar11, 45

dispersão...13, 67, 70, 71, 72, 76, 85,
86, 87, 88, 91, 101, 102, 103, 106,
107, 110, 118

distribuição normal...12, 58, 61, 75, 78,
93, 114

distribuição qui-quadrado...xiv, 25, 56,
68

distribuição *t* de *Student*25, 64

Distribuição *t* de *Student*xiv

documento cartográfico22, 67

Drawing Exchange Format (DXF)...xii,
6

E

erro gráfico34

erro médio...15, 17, 19, 66, 76, 81, 91,
97, 106, 110

erro médio quadrático15

erro padrão16, 17

erros acidentais12, 13

erros estatísticos..... ver erros grosseiros

erros grosseiros.....12

erros sistemáticos.....13, 53, 59

escala...4, 11, 12, 15, 17, 18, 29, 34,
35, 36, 45, 47, 50, 54, 64, 65, 68, 80,
81, 83, 85, 86, 87, 95, 96, 98, 100,
111, 113, 114, 119

estimativa de precisão15

estrutura vetorial.....6, 7

*European Committee for
standardisation (CEN)*.....xii, 2, 39

exatidão13, 35, 118, 119

F

fontes de dados4

fotogrametria17

G

geodésia.....33

Global Position System (GPS)...xii, xv,
17, 27, 29, 32, 54, 106, 111, 113,
114, 115, 122

grau de confiança19, 24, 53

graus de liberdade...63, 65, 67, 79, 84,
95, 99

H

hipótese...23, 64, 65, 66, 68, 69, 71,
72, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88,
95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102,
103, 108

I

imprecisão.....20, 107

incoerência interna19

inferência113

inferências.....32, 114

Instituto Brasileiro de Geografia e
Estatística (IBGE)....31, 32, 33, 72,
122, 123

Instituto de Geociências Aplicadas
(IGA).....xii, 3

*International Standardisation
Organisation (ISO)*xii, 2

interpolação...ix, 37, 38, 108, 113, 114,
118

intervalo...ix, x, xi, 24, 25, 30, 44, 63,
64, 66, 67, 68, 79, 80, 82, 84, 95, 98,
99, 100, 106, 109, 113

K

$K_0 = 0,9996$ 36

L

latitude.....xiv, 33

layer43, 52

longitude.....xiv, 33

M

mapa geoidal33, 72, 108, 113

mapas digitais.....4

mapas temáticos.....7

mapeamento sistemático..... 31
 mapeamentos temáticos.....xv
 média amostral....25, 62, 63, 64, 67, 79,
 84, 94, 99
 média populacional....25, 62, 63, 64, 65,
 66, 79, 81, 82, 84, 94, 95, 96, 98, 99
 mesa digitalizadora... xv, 11, 27, 39, 110
 multilinhas..... 11

N

nível de significância....62, 64, 65, 66,
 68, 69, 71, 72, 78, 80, 81, 82, 84, 85,
 86, 87, 88, 95, 96, 98, 99, 100, 101,
 102, 103

O

ondulação geoidal 33

P

Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)
 viii, xii, 2, 3, 17, 18, 20, 22, 23, 24,
 54, 60, 76, 92, 109, 118
 padrões A, B ou C ... 63, 68, 80, 95, 100
 padrões de hachuras.....12, 44
 pequenas amostras24, 56
plotter xv, 27, 56, 92, 113
 polígonos 7, 8, 9, 48, 50, 51, 52
 polilinhas..... 11, 41, 44, 48
 população....ix, 23, 24, 25, 63, 68, 80,
 84, 95, 99
 posicionamento....17, 25, 32, 48, 114,
 115
 posições altimétricas75, 91, 105
 posições planimétricas.....13, 107
 precisão altimétrica110, 111
 precisão planimétrica....x, xi, 69, 70, 71,
 85, 86, 88, 100, 101, 102
 probabilidade....23, 57, 61, 64, 68, 77,
 93, 118
 produtor..... 14, 16, 17, 119
 proporção amostral22, 24, 25, 115

Q

Q.Q Plot....x, xi, 56, 58, 62, 75, 79, 90,
 94, 105
 qualidade do produto ... 1, 2, 15, 16, 113

qualidade planimétrica..... 103
 qualidade posicionalxv, 3, 5

R

raster 6
 região de aceitação.....xiii
 região de rejeição....xiii, 65, 66, 69, 70,
 71, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 96, 97, 98,
 100, 101, 102
 resolução10, 39, 97
 restituição....xv, 16, 28, 29, 54, 56, 60,
 107, 113, 116

S

sensoriamento remoto 4
 sistema de projeção 12, 36
 Sistemas de Informações Geográficas
 (SIG) xii, 3, 6, 43, 45
 Sistemas de Modelos Digitais do
 Terreno (SMDT).....xii, 6
 Sistemas Gerenciadores de Banco de
 dados (SGBD)xii, 6
South American Datum (SAD-69)....xii,
 32, 33

T

teste de normalidade....25, 56, 61, 73,
 77, 89, 93, 104
 testes não paramétricos 58
 topografia 33

U

*Universal Computer Aided Mapping
 Systems (UCAMS)*xii, 5
 usuário xv, 13, 14, 16, 47, 52, 116

V

variância amostral 25
 variância populacional....25, 68, 69, 71,
 72, 85, 86, 87, 88, 101, 102, 103

W

World Geodetic System (WGS-84)....xii,
 32, 33