

JÚLIO CESAR DE MENEZES

**INTERPOLAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS
DE TERRENO A PARTIR DE ISOLINHAS.**

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

CURITIBA
1992

JULIO CESAR DE MENEZES

INTERPOLAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS
DE TERRENO A PARTIR DE ISOLINHAS.

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

Curitiba

1992

INTERPOLAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS
DE TERRENO A PARTIR DE ISOLINHAS.

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, como
requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências

por

JULIO CESAR DE MENEZES, Eng. Agrimensor.

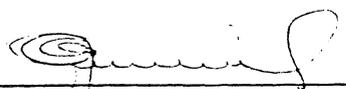
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

1992

BANCA EXAMINADORA:



PhD. João Bosco Lugnani



Dr. Quintino Dalmolin



M.S. Edson Aparecido Mitishita

Aos meus Menezes.

AGRADECIMENTOS

Desejo manifestar agradecimentos às pessoas e empresas abaixo relacionadas, que contribuíram de forma relevante na confecção deste trabalho:

PhD. João Bosco Lugnani, pela orientação e incentivo.

Dr. Quintino Dalmolin.

Srta. Elisabete Silva, pelo auxílio e apoio.

Aos amigos e colegas de curso Jair Ferreira de Almeida e Jorge da Graça.

Eng. Valter Xavier Aguiar.

Aerosul S.A. Levantamentos Aeroespaciais e Consultoria pelo fornecimento do material utilizado nos testes.

RESUMO

A presente dissertação investiga e propõe uma alternativa para a geração de modelos digitais de terreno, na configuração de malha de pontos cotados, interpolados a partir de representações na forma de curvas de nível (isolinhas). Esta alternativa permite, ainda, o aproveitamento de pontos cotados e a consideração de perfis de descontinuidades ("break lines") na confecção da malha.

São metas deste trabalho: 1- a produção de um modelo digital do terreno; 2- a detecção de erros nos dados de entrada; 3- a implementação de recursos para avaliar, ponto a ponto, a malha de saída.

Para atingir os objetivos estabelecidos, desenvolveu-se um conjunto de programas, em linguagem C, sendo alguns testes implementados em Turbo Pascal. Em alguns deles há um núcleo de computação gráfica tal como rotinas para "Splines", comunicação com periféricos tipo mesas digitalizadoras, restituidores e "Mouse". Utilizou-se plataforma MS_DOS e equipamentos da linha IBM-PC.

ABSTRACT

This dissertation investigates and offers an alternative solution for the generation of digital terrain models, in grid form, from isolines. This alternative still enables the use of spot heights and break lines for the production of the network.

This work's aims are: 1- the production of DTM; 2- the detection of errors in the input data; 3- the implementation of means to evaluate the output grid, point by point.

To reach this aims, a set of programs is developed in C language and Turbo Pascal. In some of them there is a graphical kernel like routines for splines, peripheral communication and mouse. The programs runs under MS_DOS for IBM-PC computers.

SUMARIO

	Página
Título.....	ii
Dedicatória.....	iii
Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	v
Sumário.....	vi
Listas de Símbolos e Abreviaturas.....	ix

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO.....	1
---------------------	---

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - GENERALIDADES.....	4
2.2 - AQUISIÇÃO DE DADOS.....	4
2.2.1 - PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS.....	4
2.2.2 - EQUIPAMENTOS	7
2.3 - PROCESSAMENTO DOS DADOS E GERAÇÃO DO DTM.....	10
2.3.1 - GENERALIDADES SOBRE INTERPOLAÇÃO.....	10
2.3.2 - TÉCNICAS PARA GERAR O DTM.....	13
2.4 - APLICAÇÕES DO MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	16

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 - CONSIDERAÇÕES INTRODUTÓRIAS.....	17
3.2 - INTERPOLADOR LINEAR.....	17
3.3 - SPLINE NATURAL CÚBICO.....	18
3.4 - B_SPLINE.....	23
3.5 - SPLINE CÚBICO DE HERMITE.....	27

CAPÍTULO 4.

METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO.

4.1 - PERFILAMENTO DAS ISOLINHAS.....	32
4.2 - INTERPOLAÇÃO DOS PERFIS REGULARES.....	36
4.3 - FORMAÇÃO DAS MALHAS.....	39
4.4 - EDIÇÃO DA MALHA FINAL.....	40
4.5 - COMPARAÇÃO PONTO A PONTO.....	42
4.6 - DETECÇÃO DE ERROS NOS DADOS DE ENTRADA.....	48
4.7 - TESTE DE DISCREPANCIAS POR INTERPOLAÇÃO REVERSA....	49

CAPÍTULO 5.

DESCRIÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS PROGRAMAS.

5.1 - AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO.....	51
5.2 - CONJUNTO DE PROGRAMAS.....	52
5.2.1 - DTM_MENU.....	52
5.2.1.1 - PROJETO.....	53
5.2.1.2 - ARQUIVO_TXT.....	54
5.2.1.3 - PERFIL_ORIGINAL.....	55
5.2.1.4 - PERFIL_REGULAR.....	57
5.2.1.5 - GRID_REGULAR.....	57
5.3 - FORMATO DOS ARQUIVOS DE ENTRADA.....	59
5.3.1 - ARQUIVO DE ISOLINHAS .TXT.....	59
5.3.2 - ARQUIVO DE INSTRUÇÕES DE PERFILAMENTO .IPE....	63
5.4 - PASSOS PARA A PRODUÇÃO DE UMA MALHA.....	65
5.5 - FORMATO DOS PRINCIPAIS ARQUIVOS DE SAÍDA.....	66
5.5.1 - ARQUIVOS SEQUENCIAIS COM MALHA .SX# .SY#.....	66
5.5.2 - ARQUIVO ERROSTXT.TXT.....	67
5.5.3 - ARQUIVO ERROSBPI.TXT.....	67
5.5.4 - ARQUIVO .ERR.....	68

CAPÍTULO 6

TESTES E RESULTADOS

6.1 - OS TESTES REALIZADOS.....	70
6.2 - CARACTERÍSTICAS DOS DADOS EMPREGADOS NOS TESTES....	70
6.2.1 - ESPECIFICAÇÕES PARA O DTM.....	70
6.2.2 - AS ÁREAS TESTE.....	71
6.3 - CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE COMPUTAÇÃO.....	76
6.4 - OBTENÇÃO DAS MALHAS.....	77
6.4.1 - MALHAS OBTIDAS PELO PROGRAMA SORA.....	77
6.4.2 - MALHAS OBTIDAS NESTA INVESTIGAÇÃO.....	78
6.5 - RESULTADOS.....	78
6.5.1 - OS RELATÓRIOS RCPP.....	78
6.5.2 - TESTE DE DISCREPANCIA POR INTERPOLAÇÃO REVERSA	82
6.5.3 - TESTE COM INTERPOLAÇÃO LINEAR.....	92
6.5.4 - TESTES COM "SPLINES".....	93
6.5.5 - RESUMO DA COMPARAÇÃO COM AS MALHAS DO SORA....	102
6.5.6 - TESTES DE DESEMPENHO.....	105
6.5.6.1 - DESEMPENHO DOS INTERPOLADORES.....	105
6.5.6.2 - DESEMPENHO DOS PROGRAMAS.....	106
6.5.6.3 - TESTES DE RESOLUÇÃO DO DTM VERSUS TEMPO..	106

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 - CONCLUSÕES.....	109
7.2 - RECOMENDAÇÕES.....	111
ANEXOS.....	114
NOTAS DE REFERÊNCIAS.....	167
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169

LISTAS DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.

CartoCad	Sistema Gráfico Interativo
CIP	"Contour Interpolation Program"
DEM	"Digital Elevation Model"
DTM	"Digital Terrain Model"
GPM2/3	"Gestalt Photomapper" (Correlator de imagem)
HIFI	"Height Interpolation by Finite Elements" "software"
IBM-PC	"International Business Machines - Personal Computer"
MS-DOS	"Microsoft Disk Operational System"
RCPP	Relatório da Comparação Ponto a Ponto
TDIR	Teste de Discrepância por Interpolação Reversa
SCOP	"Stuttgart Contour Program"
SORA	"Software for Offline Rectification in the Avioplan Ortophoto
SNC	"SPLINE" NATURAL CÚBICO
BS	"B-SPLINE"
SCH	"SPLINE" CÚBICO DE HERMITE
#	Interpolador: (1 = SNC; 2 = BS; 3 = SCH)
BX#	malha obtida do perfilamento da direção X (# interpolador)
BY#	malha obtida do perfilamento da direção Y (# interpolador)
BX4	malha final resultante da combinação das malhas BX# e BY#
n0	pontos com cotas coincidentes nas duas malhas
nA	pontos cuja discrepância compreende o intervalo (0,0m a 2,5m]
nB	pontos cuja discrepância compreende o intervalo (2,5m a 5,0m]
nC	pontos cuja discrepância compreende o intervalo (5,0m a 7,5m]
nZ	pontos cuja discrepância supera 7,5 m
B-Z	total de pontos sujeitos a edição para remoção de oscilação
O-A	total de pontos dentro das especificações do DTM

C A P I T U L O 1

INTRODUÇÃO

Várias técnicas modernas da fotogrametria e engenharia necessitam de uma representação do terreno em forma digital. Nas aplicações modernas da fotogrametria destacam-se a produção de ortofotos digitais, atualização cartográfica baseadas em fotos singulares e, na engenharia, estudos de barragens, escolha de traçados de rodovias assistidos por computador, etc. Mesmo com a atual disponibilidade de equipamentos computacionais diretamente conectados aos diversos dispositivos de aquisição de dados de mapeamento, tais como estereorestituidores, existe ainda no Brasil um enorme volume de material cartográfico registrado em forma de mapas impressos em papel. O desenvolvimento de técnicas para o aproveitamento e conversão destas formas analógicas de representação para a forma digital tem sido objeto de interesse das empresas particulares e governamentais. Isto se deve ao fato de que a transformação desses dados para a forma digital gera facilidades de aplicação e manuseio. Dentre essas, podem ser citadas a possibilidade de reimpressão em parte ou total do material, a adição ou remoção de informação simplificando a manutenção dos dados, bem como a diminuição dos custos de armazenamento.

Na geração de Ortofoto Digital, que foi objeto de pesquisa e apresentação de dissertação de mestrado no Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, em ALMEIDA |03| destaca-se a importância do modelo digital do terreno e apresenta-se formas de estimar a qualidade exigida dos pontos da malha do DTM, qualidade essa variável em função da posição do ponto em relação ao centro perspectivo. No caso específico da Ortofoto convencional, o modelo digital obtido por interpolação a partir da restituição das curvas de nível em estereorestituidores, etapa muitas vezes necessária à confecção da ortofotocarta, tem apresentado, na prática, resultados superiores aos obtidos com o perfilamento de estereomodelos, sendo este um dos motivos que delinearão os rumos desta pesquisa. Uma característica importante das isolinhas é a variável densidade da amostragem de acordo com a morfologia do terreno, ou seja, em regiões acidentadas a coleta de dados é mais abundante que nas planas.

A presente dissertação investiga e propõe uma alternativa para a geração de modelos digitais de terreno, na configuração de malha de pontos cotados ("grid"), a partir de representações na forma de curvas de nível (isolinhas). Esta alternativa permite, ainda, o aproveitamento de pontos cotados e a consideração de perfis de descontinuidades ("break lines") na confecção da malha como forma de se reforçar a amostragem dos dados e melhorar assim a qualidade do DTM. Procura trabalhar dentro do pressuposto de que as fontes básicas de dados sejam cartas com curvas de nível e restituições digitais. Em se tratando da digitalização de cartas impressas, há restrições quanto ao reforço na amostragem dos dados uma vez que estradas e outros acidentes naturais e artificiais são representados apenas planimetricamente. Para compensar a fraca densidade de pontos, em determinadas regiões da carta, implementa vários tipos de interpoladores, além de possibilitar a edição local da malha resultante. Essa edição é feita automaticamente, podendo ser supervisionada pelo operador.

São metas deste trabalho: 1- a produção de um modelo digital do terreno; 2- a detecção de erros nos dados de entrada; 3- a implementação de recursos para avaliar, ponto a ponto, a malha de saída. O aproveitamento da organização dos dados de entrada em forma de isolinhas, ao contrário de considera-los como uma nuvem de pontos, possibilita a percepção de erros de maneira mais segura. Erros tais como curvas de nível enlaçadas ou não restituídas ou ainda restituídas com altitude incorreta podem ser notados. Na detecção de erros de entrada, as regiões com erro, apontadas em forma de coordenadas, permitem sua localização espacial, facilitando o processo de correção. A apreciação, ponto a ponto, da malha de saída aponta as regiões onde houve deficiência nos dados de entrada, permitindo que se reforcem esses dados ao mesmo tempo em que é uma indicação importante para a avaliação de processos que utilizem o modelo digital do terreno.

Este trabalho, para atingir os objetivos estabelecidos, desenvolveu um conjunto de programas, em linguagem C, sendo alguns testes implementados em Turbo Pascal. Em alguns deles há um núcleo de computação gráfica tal como rotinas para "Splines", comunicação com periféricos tipo mesas digitalizadoras, restituidores e "Mouse". Os programas fonte destas rotinas básicas se encontram

nos anexos e podem servir de base para outros trabalhos relacionados a cartografia digital. Utiliza plataforma MS-DOS e equipamentos da linha IBM-PC, dentro dos limites de um equipamento tipo PC-XT com 640k "bytes" de memória principal, sem coprocessador, com disco rígido e placa gráfica padrão CGA, aceitando entretanto placas EGA e VGA e equipamentos tipo PC-AT e 386. Apesar das limitações do equipamento utilizado, o objetivo de confeccionar uma malha suficientemente densa para as aplicações práticas de produção é satisfeito. Os arquivos básicos de entrada e intermediários são apresentados também em formato seqüencial ASCII, de maneira a possibilitar seu fácil aproveitamento ou migração para outros programas.

A presente dissertação apresenta-se organizada da seguinte forma: no Capítulo 2 é feita uma revisão das técnicas atuais; no Capítulo 3 é apresentado o desenvolvimento matemático dos interpoladores; no Capítulo 4 é dada a metodologia para a obtenção da malha alvo; no Capítulo 5 trata-se dos programas e arquivos de entrada e saída; no Capítulo 6 são apresentados testes e resultados; e no Capítulo 7 relata-se as conclusões e pontos para estudos futuros.

C A P I T U L O 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

2.1 - GENERALIDADES.

As primeiras idéias sobre a representação de um modelo do terreno em computador digital parecem ter surgido no MIT (Massachusetts Institute of Technology), no ano de 1958, com os trabalhos publicados por MILLER [13]. A nomenclatura "Digital Terrain Model" usada por Miller evoluiu para outras formas como DEM ("Digital Elevation Model") mas no meio cartográfico brasileiro popularizou-se a terminologia original de Miller sintetizada na sigla "DTM", que será adotada também neste trabalho. Existem muitas definições sobre o que seja um DTM; STEFANOVIC [21] define DTM como "uma representação digital do relevo do terreno aceitável para processamento em computador". Uma grande gama de alternativas e propostas para a geração de DTM vem sendo pesquisada. Abordam-se neste capítulo três tópicos: a aquisição de dados, aspectos de informática envolvidos e os produtos obtidos a partir do DTM.

2.2 - AQUISIÇÃO DE DADOS.

A qualidade, quantidade e distribuição dos dados amostrados para a representação do terreno é vital, tendo relação e conseqüências diretas na qualidade do produto final. Uma amostragem imperfeita não pode ser compensada significativamente pela implementação do mais sofisticado interpolador. De acordo com STEFANOVIC [21], "A aquisição dos dados é usualmente a fase que consome mais tempo e a de maior custo em relação ao processo total para a geração do DTM". Seu planejamento, execução e controle requer maior perícia.

2.2.1 - PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS:

A distribuição espacial dos pontos a serem amostrados, durante o processo de aquisição, varia com as características do terreno, com o recurso dos equipamentos e com as especificações estabelecidas. Os padrões de distribuição de pontos podem ser

divididos em:

Padrões:	Malha ("Grids").	Regular. (Z)
		Irregular. (X,Y,Z)
	Pontos Aleatórios. (X,Y,Z)	
	Perfilamento. (X,Z) ou (Y,Z)	
	Curvas de Nível. (X,Y)	
	Linhas estruturais. (X,Y,Z)	

Malha Regular: neste, a aquisição dos dados processa-se de forma ordenada, estando os dados amostrados nos nodos de uma malha, normalmente de células quadradas. Pode, entretanto, haver outras formas como retangulares e triangulares. A indexação dos arquivos para recuperação dos dados é bastante simples. No caso da malha quadrada, situando sua origem num sistema referencial OXYZ, e orientando-a paralelamente aos eixos cartesianos, pode-se dispor as coordenadas Z em forma de matriz. A desvantagem da malha regular reside na possibilidade de haver um excesso de dados em determinadas regiões, escassez em outras e a não coincidência dos nodos com as descontinuidades naturais ou artificiais do terreno. As três possibilidades são indesejadas, sendo a segunda a mais crítica, uma vez que não se pode reproduzir fielmente a discontinuidade a partir da malha interpolada.

Malha Irregular: no chamado Método da Amostragem Progressiva, proposto por MACAROVIC [11] em 1973, a amostragem é feita em uma malha mais larga que vai sendo densificada, pela subdivisão das células, através de uma análise da curvatura do terreno na célula primária. Desta forma, descartam-se os dados redundantes por um critério objetivo. Obtém-se uma malha irregular havendo, portanto, a necessidade de se armazenarem (X,Y,Z) ou de se elaborar um algoritmo adequado para a indexação dos arquivos. Atualmente o programa HIFI da casa alemã ZEISS utiliza, dentre outras, essa forma de aquisição e compressão de dados. A Amostragem Progressiva diminui o volume de dados sem que haja

perda significativa na qualidade do DTM. A subdivisão das células pode chegar a níveis que permitam amostrar as singularidades do terreno. Pode-se aplicar esse método como pós-processamento em uma coleta de dados, em forma de malha regular, para se obter uma análise dos dados e como forma de compactação de arquivo.

Pontos Aleatórios: como o próprio nome indica, os dados são coletados com uma distribuição aleatória. A escolha dos pontos a serem amostrados é bastante subjetiva, exigindo uma análise, pós amostragem, para verificação da necessidade de reamostragem. Necessita-se das coordenadas (X,Y,Z) e de uma boa organização de índices de arquivos. Muitos dos programas disponíveis comercialmente aceitam a entrada dos dados na forma de pontos aleatórios ou desconsideram a organização dos dados tratando-os como uma nuvem de pontos cotados.

Perfilamento: os dados são coletados ao longo de perfis mantendo-se uma das coordenadas fixas em cada perfil. No caso de instrumentos restituídos, o registro dos pontos pode ser feito por tempo, por distância ou por controle do operador. Arquivam-se apenas pares (X,Z) e um único valor Y para cada perfil ou (Y,Z) e um único valor para X. Análises e compressão de dados podem ser feitas durante ou após o processo de amostragem. Entre perfis adjacentes existe a possibilidade de se perderem dados de descontinuidades do terreno como por exemplo linhas de drenagem que sigam paralelamente as direções de perfilamento. No caso de restituídos não analíticos, haverá a necessidade de uma transformação do sistema de coordenadas, dada a dificuldade prática de se perfilar em coordenadas de terreno; o mesmo já não acontece com os restituídos analíticos.

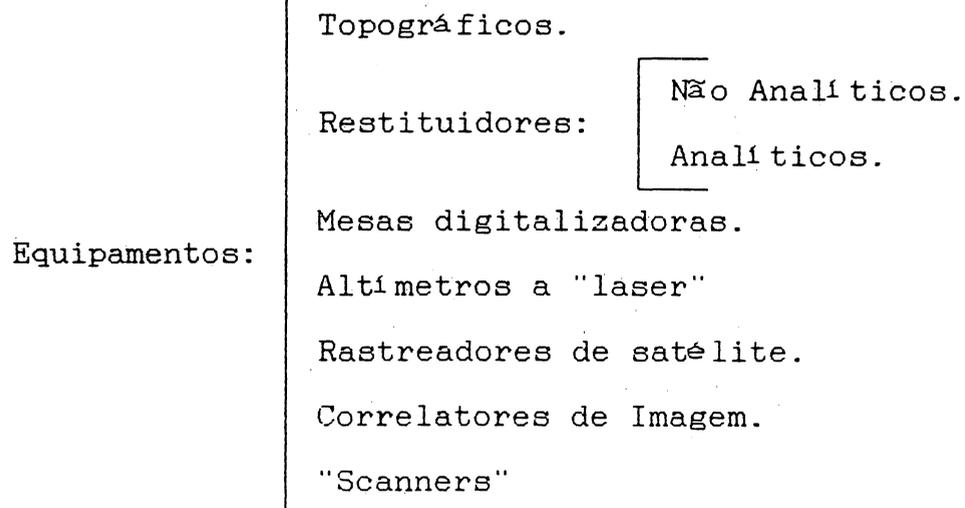
Curvas de Nível: esta forma de aquisição de dados é empregada com o uso de instrumentos restituídos e de mesas digitalizadoras (no caso de cartas impressas). O controle de aquisição faz-se por tempo, por distância ou monitorado, valendo aqui as observações constantes do item 2.2, sobre quantidade, tempo e qualidade dos pontos amostrados. Há necessidade do armazenamento de (X,Y) sendo Z armazenado uma vez para cada curva, por ser constante ao longo de toda uma curva. "Scanners" também podem ser empregados, obtendo-se neste caso dados pictóricos,

(registros em forma "raster"). Uma característica importante das isolinhas é a variável densidade da amostragem de acordo com a morfologia do terreno, ou seja, em regiões acidentadas a coleta de dados é mais abundante que nas planas.

Linhas estruturais: geralmente, a aquisição de dados ao longo de linhas estruturais e de descontinuidade atua no sentido de complementar e enriquecer os dados amostrados para o DTM. Devem ser registrados os valores de X Y e Z , ao longo da feição sendo digitalizada, em densidade suficiente para que esta seja bem representada.

2.2.2 - EQUIPAMENTOS:

Dentre os equipamentos utilizados na amostragem dos dados tem-se principalmente:



Topográficos: os equipamentos topográficos, tipo níveis teodolitos, distanciômetros, etc, possibilitam a produção de dados de melhor qualidade por coletarem a amostra de forma direta sobre a superfície do terreno. Entretanto, uma amostragem suficientemente densa, além de demorada, tem um custo elevado.

Restituidores:

Não Analíticos: os instrumentos não analíticos apresentam algumas restrições pela impossibilidade de se comandar via programa ("SoftWare") as partes mecânicas do equipamento. Isso

dificulta seu uso no processo de amostragem progressiva. Estes restituidores podem ser equipados com registradores de coordenadas ("encoders") e conectados diretamente a computadores. Assim são os equipamentos mais comumente encontrados no Brasil.

Analíticos: por permitirem o comando dos servo-motores são instrumentos rápidos e cómodos de se aplicarem em qualquer dos processos de amostragem. Por exemplo, numa amostragem em forma de malha ("grid"), a marca índice pode ser posicionada absolutamente nos pontos desejados em termos de coordenadas X e Y ; aproxima-se a coordenada Z pela análise dos dados já coletados, restando ao operador efetuar pequenos ajustes para registrar as medições. Segundo STEFANOVIC [21], os restituidores possibilitam a medição de Z com erros da ordem de 0,15 a 0,5 partes por mil da altura de vôo.

Mesas digitalizadoras: empregam-se as mesas digitalizadoras, geralmente, para a digitalização de dados em forma de curvas de nível. Seu uso é bastante comum como meio de aquisição e a precisão se situa na casa dos 0,2mm independente da escala do material que está sendo digitalizado. Esta precisão esta associada a características de construção do equipamento e a acuidade visual do operador. Algumas mesas permitem sua programação de forma semelhante aos restituidores, podendo operar por tempo, distância, sob o controle do operador, através do computador a ela conectado. A operação é bastante tediosa.

Altimetros "laser": aeronaves equipados com altímetros "laser" registram dinamicamente o perfil do terreno. As elevações são determinadas pela combinação da saída de dois instrumentos. Um estatoscópico (altímetro barométrico) que fornece a altitude em relação a uma superfície isobárica de referência e um instrumento "laser" que determina a distância terreno aeronave. Os instrumentos são previamente calibrados pela determinação de pontos de cotas conhecidas.

Rastreadores de Satélite: receptores acoplados a estações móveis possibilitam o registro simultâneo e em tempo real das coordenadas espaciais dos pontos percorridos no terreno. Planimetricamente obtem-se precisões da ordem de poucos

centímetros. Já a precisão altimétrica depende de um bom conhecimento das ondulações do geóide para que as altitudes elipsoidais possam ser transformadas em altitudes ortométricas. Para determinações de maior precisão, empregam-se dois receptores sendo um deles posicionado em um ponto de coordenadas conhecidas enquanto o outro percorre os pontos que se deseja determinar, ocupando estes pontos por pelo menos três minutos.

Correlatores de Imagem: nestes instrumentos, a aquisição de perfis a partir de pares estereoscópicos se processa praticamente sem a interferência do operador. A medida da paralaxe para a obtenção das alturas baseia-se no princípio de se procurar numa foto do estereopar a região que apresente maior índice de correlação em relação a uma pequena janela de referência tomada na outra foto. Os principais problemas surgem nas áreas com cobertura vegetal ou nuvens, em regiões de lagos, mudanças abruptas no terreno e densidade das imagens. A sua aplicação é bastante promissora sendo estes equipamentos conectados a restituidores analíticos. Detalhes sobre correlatores de imagem podem ser encontrados em ALLAM |01|. Em ALLAM |02| há uma descrição completa do equipamento Gestalt Photomapper GPM2/3.

"Scanners": como as mesas digitalizadoras, os "Scanners" são utilizados para a aquisição de dados em forma de curvas de nível, sobre cartas existentes. Após a varredura das cartas, as feições das curvas de nível, em forma pictórica, passam por um processo de edição e tratamento de imagem, de forma a melhorar a discriminação das feições. Regiões onde as curvas de nível sejam muito próximas podem apresentar problemas de mistura de curvas, dependendo da resolução do "scanner", da espessura dos traços e da reflectividade do material que está sendo digitalizado. Na forma binária, os dados são coletados a razão de um bit por "pixel" onde 0 significa ausência e 1 a existência de informação. A forma binária permite uma taxa de compressão bastante alta nos arquivos. Um algoritmo de compressão muito empregado é o "RLE" ("Run Length Encoding"). Posteriormente, os dados pictóricos podem ser convertidos para a forma vetorial. A conversão do formato "raster" para vetorial é complexa e computacionalmente dispendiosa. Testes com "Scanner" foram realizados por TUOMISTO |23|. Empregam-se também os "Scanners" como aquisitores de dados para correlação de

imagem. Uma fotografia de 9" por 9", varrida em tom contínuo, com um "pixel" de 50 μ m produz cerca de 20 mega "bytes" de informação. Para a obtenção de paralaxes por correlação de imagem torna-se necessária a imagem "raster" de duas fotos, constituindo um modelo estereoscópico, na região de recobrimento. Computacionalmente existe a dificuldade no processamento, pois as imagens geralmente não podem ser armazenadas na memória principal, havendo muita operação de entrada e saída ("I/O") em disco.

2.3 - PROCESSAMENTO DOS DADOS E GERAÇÃO DO DTM.

De maneira geral, os dados coletados para amostrar o terreno não se encontram em uma forma que permita sua aplicação imediata. Normalmente, estes dados têm de passar por algum tipo de processamento tal como detecção e eliminação de erros, transformação entre sistemas de coordenadas e reorganização em uma estrutura que facilite o processo de pesquisa destes dados. A percepção de erros nos dados de entrada é desejável em qualquer sistema que objetive produzir um modelo digital de terreno. Os terminais gráficos simplificaram bastante a tarefa de localização e eliminação de erros. Por exemplo: a localização de curvas de nível enlaçadas é mais facilmente percebida em um desenho que pela análise das coordenadas dos pontos que compõem as curvas. Outras etapas envolvidas no processamento podem ser: conversões de sistemas de coordenadas do sistema de instrumento para o de terreno, a vetorização, quando os dados são coletados por instrumentos que produzem saídas "raster", a compressão para a eliminação de dados redundantes e a interpolação que geralmente está associada à reorganização dos dados.

2.3.1 - GENERALIDADES SOBRE INTERPOLAÇÃO.

Um fenômeno é conhecido em um número de pontos discretos em um espaço n-dimensional (Espaço de referência). Estes pontos são chamados pontos de referência ou dados. De acordo com LEBERL [10], a interpolação consiste em se estimar o mesmo fenômeno em pontos intermediários, usando os pontos dados. Ainda segundo LEBERL [10], esta definição é bastante prática e não se refere especificamente a suavização ou filtro. Estes conceitos se tornam relevantes se

os dados de referência são medidos, e assim compostos de um sinal e de uma quantidade não correlacionada chamada ruído ("noise"). Neste caso, é relevante separar o sinal dos ruídos nos pontos de referência e obter apenas o sinal nos pontos estimados. O problema, de um modo geral, consiste em encontrar uma função (talvez de um tipo específico) que se encaixe ao conjunto de referências, produzindo resultados razoáveis em outros pontos. É claro que a definição de razoável depende do tipo de aplicação. Por exemplo, imagine-se um interpolador que passe pelos pontos de controle, mas que produza oscilações. No caso específico da interpolação de modelos digitais de terreno, este seria um resultado não razoável, pois espera-se que o terreno natural não apresente este tipo de comportamento. As figuras 2.1.a e 2.1.b mostram um mesmo conjunto de pontos de referência interpolados por aproximações que passam ou não pelos pontos.

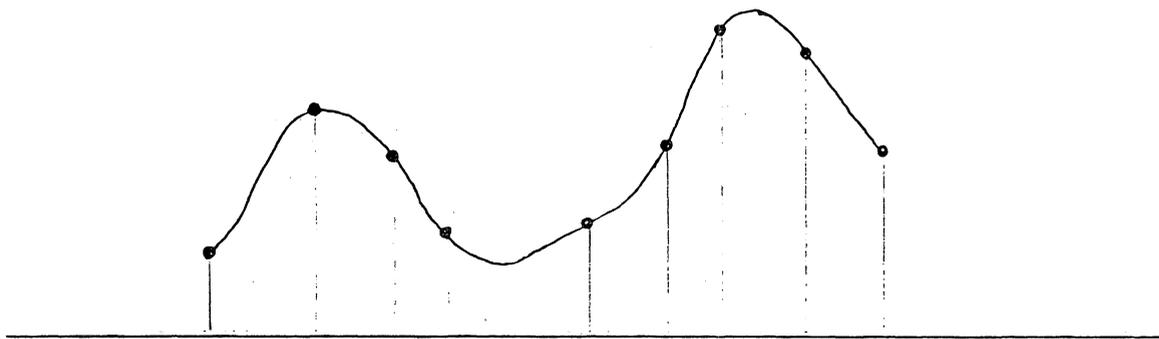


Figura 2.1.a: Interpolação sem filtro.

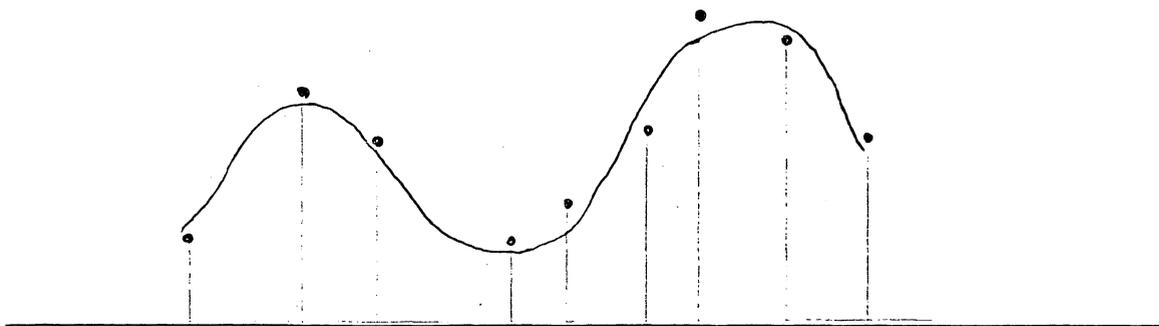


Figura 2.1.b: interpolação com filtro.

De acordo com BOOR [04], linhas quebradas não são suaves e eficientes como aproximadores. É equivocada a idéia de se utilizar um único polinômio que passe através de todos os pontos de referência, por ser ineficiente e por não produzir bons

resultados. Para o alcance das referidas qualidades, utilizar-se-á diferentes "pedaços" de polinômios que se encaixam harmoniosamente. A escolha mais popular continua a ser a aproximação com pedaços de polinômios cúbicos que, sendo de baixo grau, tornam fácil o trabalho analítico. A Figura 2.2 mostra o uso de "pedaços" de polinômios e como estes se encaixam nos pontos comuns.

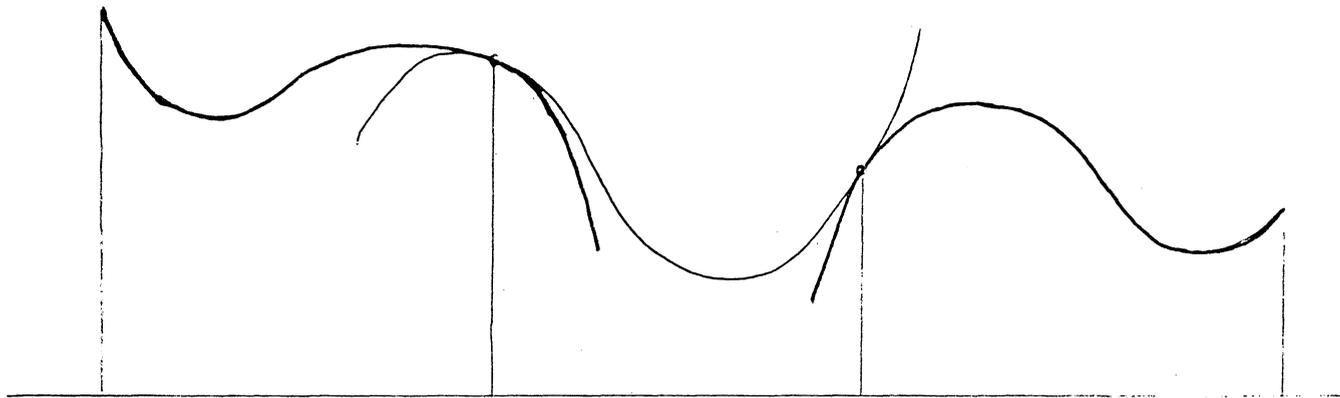


Figura 2.2: Aproximação por "pedaços" de polinômios

Segundo SCHUT [20] a precisão que pode ser obtida a partir da interpolação, depende concomitantemente da densidade e distribuição dos pontos de referência e da escolha do método de interpolação. Até um método simples de interpolação é útil se a densidade dos pontos de referência é suficientemente grande. Finalmente, deve-se ter consciência de que nenhum método de interpolação pode recuperar informação escassa, perdida ou coletada erroneamente durante a fase de amostragem dos dados.

Dentre as propriedades desejáveis na interpolação de curvas pode-se citar PERSIANO [18]:

a) procurar atenuar as oscilações da curva. Na Figura 2.3 há dois exemplos de interpolação para aproximar uma poligonal por curvas suaves que com ela devem coincidir em determinados pontos dados *a priori*. Observe-se que ambas passam pelos pontos de referência.

b) deve haver continuidade da curva gerada;

c) existência de derivadas até um determinado grau;

d) possibilidade de se efetuar um controle local da curva;

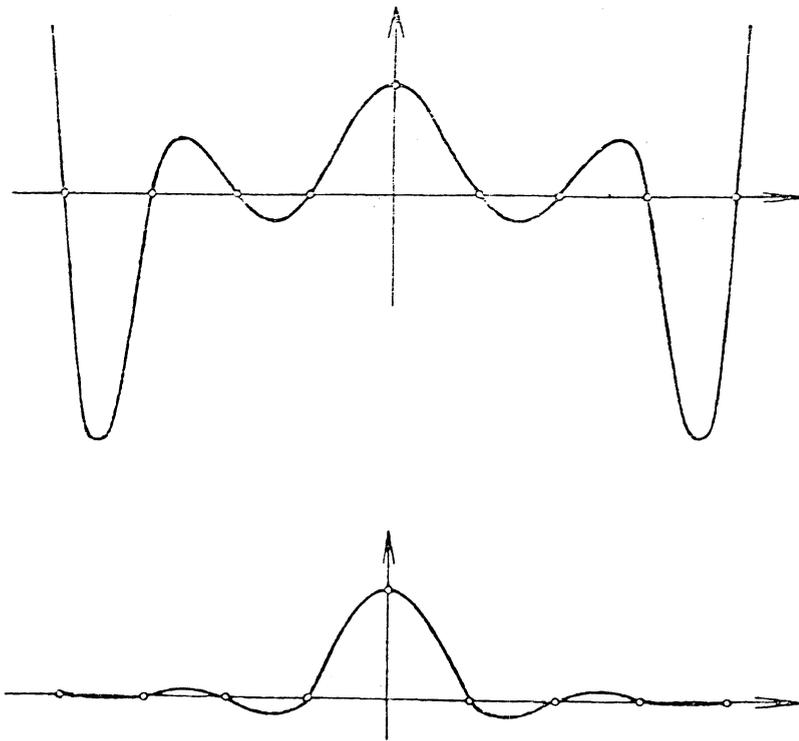


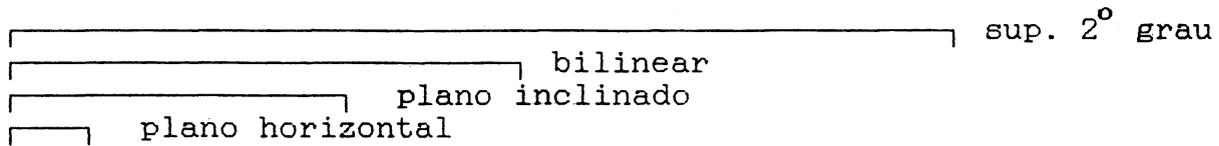
Figura 2.3: Interpolação com e sem oscilação.

2.3.2 - TÉCNICAS PARA GERAR O DTM:

Em SCHUT |20| há uma revisão abrangente das diversas técnicas empregadas na geração do DTM, considerando, inclusive, o padrão de distribuição espacial dos pontos de referência. SCHUT |20| classifica em seis grupos os métodos utilizados para a interpolação e geração do DTM.

Grupo 1: Método das Superfícies Móveis. Aplica-se a padrões aleatórios de amostragem para se estimar as cotas em uma malha. Para cada ponto a ser interpolado, calcula-se, através de ajustamento, uma superfície em função dos pontos vizinhos cuja soma dos quadrados das distâncias aos pontos de referência, ponderada por pesos, seja um mínimo. A altura desejada é obtida da superfície gerada no passo anterior. Existem diversas variações dependendo das superfícies escolhidas e das funções de peso adotadas. Entre as funções normalmente empregadas temos equações de planos e polinômios de diversos graus. Em ALLAM |02| há uma descrição de várias funções. Há dificuldades no tratamento de descontinuidades ("break lines").

Exemplo de funções:



$$h = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x y + a_4 x^2 + a_5 y^2 \dots$$

$h =$ altura; $x, y =$ coordenadas; $a_i =$ coeficientes.

Exemplo de pesos: Aqui, "w" representa o peso e "r" a distância do nodo ao ponto de referência. Os pesos produzem o efeito de suavização controlando a influência de cada amostra.

$$w = 1 / r^n \quad n = 1 \text{ ou } 2 \text{ ou } 3 \dots$$

$$w = (1 - r)^2 / r^2 \quad r \neq 0.$$

Grupo 2: Método da Adição de Superfícies. A elevação entre dois pontos arbitrários, menos uma superfície de tendência, são supostos ser correlacionados de acordo com uma função vinculada a distância entre os dois pontos. A elevação Z_p de um ponto é determinada por:

$$Z_p = q^t C^{-1} Z$$

onde:

q = vetor com correlações entre o ponto p e os pontos amostrados.

C = matriz de autocorrelação entre os pontos amostrados.

Z = vetor das elevações medidas menos a superfície de tendência.

Geralmente empregam-se superfícies polinomiais de segunda ordem ou maiores como superfície de tendência. Segundo ÖSTMAN [16], a denominação adição de superfícies é baseada em interpretação geométrica. Conforme SCHUT [20], a formulação é idêntica à empregada na teoria de correlação das funções aleatórias e, de acordo com esta teoria, deste método é esperado ótimo resultado desde que os dados apresentem a característica de função randômica estacionária e que a função de correlação empregada seja apropriada. Este método é também conhecido por interpolação linear pelos mínimos quadrados ou predição linear, conforme SCHUT [20]. O programa "SCOP (Stuttgart Contour Program)" emprega esta sistemática de acordo com MANFRED [12]. Em LEBERL [09] e em ÖSTMAN [16] há detalhes sobre esta técnica.

Grupo 3: Ajustamento Simultâneo de Polinômios Locais. Neste grupo, uma malha é sobreposta aos pontos de referência e para cada célula (elemento da malha), constrói-se um polinômio. Forma-se um sistema de equações cujas incógnitas são as cotas nos nodos da malha e, possivelmente, as derivadas nos nodos, de forma a garantir a continuidade suave da superfície na junção das células. Em EBNER [06] é apresentada a formulação empregada no programa HIFI ("Height Interpolation by Finite Elements"). Em EBNER [07] é pormenorizado o tratamento das descontinuidades ("break lines") do HIFI. JANCAITIS [08] utiliza esta técnica para a confecção de um "DTM". OSTMAN [16] faz uma análise do esforço computacional empregado na solução do grande sistema de equações a ser resolvido.

Grupo 4: Interpolação em uma Malha Regular. Emprega-se, geralmente, para estimar cotas dentro de uma malha cujos valores nos nodos já são conhecidos ou para se obter uma malha mais densa, a partir de uma malha básica. SCHUT [20] apresenta técnicas eficientes para a interpolação e as simplificações obtidas face à geometria dos dados. O polinômio bilinear é bastante empregado neste caso.

Grupo 5: Interpolação em uma Rede de Triângulos. Emprega-se este método para derivar curvas de nível diretamente dos pontos de referência amostrados, sem a utilização de uma malha intermediária. A superfície é formada por uma rede de triângulos, tendo como vértices os pontos amostrados. Há dois passos envolvidos: a formação dos triângulos e a interpolação dentro de cada triângulo. OSTMAN [17] comenta sobre o esforço computacional envolvido na formação dos triângulos e as conseqüências advindas da inserção ou remoção de pontos de referência sobre a forma da rede de triângulos.

Grupo 6: Interpolação em um DTM organizado em seqüência de pontos. Agrupam-se aqui os modelos cujos pontos se encontram amostrados em linhas características do terreno tais como isolinhas, perfis, etc. Uma malha regular pode ser obtida a partir desses dados. O presente trabalho se enquadra nesta categoria.

2.4 - APLICAÇÕES DO MODELO DIGITAL DE TERRENO:

Algumas das aplicações diretas do DTM são:

- 1- Produção de ortofotocartas, estereomates e atualização cartográfica.
- 2- Traçado automático de curvas de nível.
- 3- Geração de pares estereoscópicos a partir da introdução de paralaxe em imagens obtidas por sistemas orbitais tipo o LANDSAT.
- 4- Determinações de perfis para estudo de rodovias, irrigação e demais projetos de engenharia.
- 5- Cálculo de volumes em escavações, barragens, etc.
- 6- Estudos de uso do solo, em sistema de informações geográficas, através de cálculos de declividade e de cartas de aspecto.
- 7- Controle de equipamentos de escavação em minerações.
- 8- Geração de vistas perspectivas em trabalhos paisagísticos e de arquitetura.
- 9- Intervisibilidade entre pontos, por exemplo para a instalação de torres de comunicação.

C A P I T U L O 3

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 - CONSIDERAÇÕES INTRODUTÓRIAS:

Neste trabalho usou-se quatro interpoladores; 1- Linear; 2- "Spline" natural cúbico (SNC); 3- "B-spline" (BS); 4- "Spline" cúbico de Hermite (SCH). Os interpoladores possibilitam a determinação de pontos desconhecidos a partir dos pontos amostrados. Eles foram empregados para a criação das malhas do DTM, pela interpolação de pontos igualmente espaçados, a partir dos perfis obtidos diretamente das curvas de nível, conforme descrição apresentada no capítulo 4, item 4.2. Durante a investigação, procurou-se interpoladores com bom comportamento quanto a não geração de oscilações entre pontos de referência e que tivessem desempenho satisfatório sob o ponto de vista computacional. De forma a permitir uma comparação do comportamento dos diversos interpoladores estudados, estes foram aplicados, para os mesmos conjuntos de pontos de referência, nas figuras apresentadas neste capítulo. A formulação matemática dos interpoladores será apresentada a seguir.

3.2 - INTERPOLADOR LINEAR:

BOOR [04] denomina interpolação por linha quebrada a aproximação obtida quando se une por segmentos de reta os pontos de referência.

Dado um conjunto de pontos de referência $g(x_1), \dots, g(x_n)$ com $a = x_1 < \dots < x_n = b$, constro-se peças de um interpolante f para g como segue: Em cada intervalo $[x_i, x_{i+1}]$, temos que à f corresponde algum polinômio de ordem 2, $f(x) = L_i(x)$ pertencente a \mathbb{P}_2 , para $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ e para $i = 1, \dots, n-1$.

$$L_i(x) = g(x_i) + (x - x_i) \left[\frac{g(x_{i+1}) - g(x_i)}{(x_{i+1} - x_i)} \right]$$

A interpolação linear é extremamente útil em muitas aplicações e entre suas vantagens está o reduzido esforço

computacional e a não geração de oscilações entre pontos de referência. A interpolação linear pode ser empregada como uma primeira aproximação do fenômeno, auxiliando na análise dos dados e na depuração de erros de amostragem. Usando "pedaços" de funções lineares obtém-se uma aproximação contínua, mas não diferenciável nos pontos de referência.

3.3- SPLINE NATURAL CÚBICO:

O termo "spline" denota qualquer conjunto de polinômios de grau n que são contínuos em até pelo menos a primeira derivada. Natural e forçado ("clamped") "splines" são contínuos até a segunda derivada, mas diferem na especificação das injunções nos pontos terminais. O "spline" natural cúbico (SNC) emprega a injunção de que a segunda derivada nos pontos terminais é nula, enquanto "splines" forçados ("clamped") assumem que o valor da primeira derivada é explicitamente definido nesses pontos segundo PLASTOCK |19|.

O desenvolvimento a seguir pode ser encontrado em MORITZ |14|, embora na formulação abaixo haja uma generalização para o caso de pontos não igualmente espaçados.

Dados n pontos de referência $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, constrói-se peças de polinômios cúbicos $S_i(x)$ com continuidade até e incluindo a segunda derivada, aplicável ao intervalo entre x_i e x_{i+1} . Obtém-se $n-1$ diferentes polinômios que se encaixam suavemente cuja forma geral é:

$$S_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad \text{Para } i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (3.1)$$

$a_i, b_i, c_i, d_i,$ coeficientes.

Derivando em função de x tem-se:

$$S'_i(x) = 3 a_i x^2 + 2 b_i x + c_i \quad (3.2)$$

A segunda derivada nos pontos nodais, também denominada *momento*, é linear no intervalo:

$$M_i = S''_i(x) = 6 a_i x + 2 b_i \quad (3.3)$$

Pode-se calcular o *momento* num ponto x como segue:

$$\frac{(M_{i+1} - M_i)}{(x_{i+1} - x_i)} = \frac{(M_x - M_i)}{(x - x_i)}$$

$$M_x = M_{i+1} (x - x_i) / (x_{i+1} - x_i) + M_i [1 - (x - x_i) / (x_{i+1} - x_i)] \quad (3.4)$$

De forma a simplificar as deduções, efetua-se uma troca de variáveis. Efetuando a troca de variáveis e integrando duas vezes tem-se:

$$t = (x - x_i) / (x_{i+1} - x_i) \quad (3.5)$$

$$\partial x = (x_{i+1} - x_i) \partial t \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial^2 S_i(t)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 S_i(x)}{\partial x^2} \left[\frac{\partial x}{\partial t} \right]^2 + \frac{\partial S_i(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \quad (3.7)$$

$$S_i''(t) = (x_{i+1} - x_i)^2 [M_{i+1} t + M_i (1 - t)] \quad (3.8)$$

$$S_i'(t) = (x_{i+1} - x_i)^2 \int [M_{i+1} t + M_i (1 - t)] \partial t \quad (3.9)$$

$$S_i'(t) = (x_{i+1} - x_i)^2 [M_{i+1} t^2 / 2 + M_i t - M_i t^2 / 2 + A] \quad (3.10)$$

$$S_i(t) = (x_{i+1} - x_i)^2 \int [M_{i+1} t^2 / 2 + M_i t - M_i t^2 / 2 + A] \partial t \quad (3.11)$$

$$S_i(t) = (x_{i+1} - x_i)^2 / 6 [M_{i+1} t^3 + M_i (3t^2 - t^3) + 6 A t + 6 B] \quad (3.12)$$

Em (3.12) tem-se o "spline expresso em função da nova variável t e dos momentos M sendo que agora devem ser determinadas as constantes de integração A e B .

As constantes de integração são determinadas a partir das condições impostas de que o "spline" deve passar pelos pontos de controle. Assim:

$$S_i(x_i) = y_i$$

$$S_i(x_{i+1}) = y_{i+1}$$

Em (3.5) temos : $t = (x - x_i) / (x_{i+1} - x_i)$

$$x = x_i \Rightarrow t = 0$$

$$x = x_{i+1} \Rightarrow t = 1$$

Substituindo-se em (3.12) as referidas condições chega-se a:

$$S_i(0) = y_i \Rightarrow B = y_i / (x_{i+1} - x_i)^2 \quad (3.13)$$

$$S_{i+1}(1) = y_{i+1} = (x_{i+1} - x_i)^2 / 6 [M_{i+1} + 2 M_i + 6 A + 6 y_i / \\ / (x_{i+1} - x_i)^2]$$

$$y_{i+1} = (x_{i+1} - x_i)^2 / 6 [M_{i+1} + 2 M_i + 6 A] + y_i$$

$$6 A = 6 (y_{i+1} - y_i) / (x_{i+1} - x_i)^2 - M_{i+1} - 2 M_i$$

Efetuada as substituições das constantes de integração A e B em (3.12), resulta finalmente, em (3.14), o "spline" expresso em função da nova variável t e dos momentos M.

$$S_i(t) = y_{i+1} t + (1 - t) y_i + (x_{i+1} - x_i)^2 [(t^3 - t) M_{i+1} + ((1 - t)^3 - \\ - (1 - t)) M_i] / 6 \quad (3.14)$$

Para garantir que os "pedaços" de "spline" se encaixem suavemente, deve-se manter a continuidade na primeira derivada entre "pedaços" sucessivos. Assim, S_i e S_{i+1} devem possuir a mesma derivada em $x = x_i$.

A derivada de (3.14) com respeito a t é:

$$S_i'(t) = (y_{i+1} - y_i) + (x_{i+1} - x_i)^2 [(3t^2 - 1) M_{i+1} + \\ + (1 - 3(1 - t)^2) M_i] / 6 \quad (3.15)$$

A derivada com respeito a x é:

$$S_i'(x) = (y_{i+1} - y_i) / (x_{i+1} - x_i) + (x_{i+1} - x_i) [(3t^2 - 1) M_{i+1} + \\ + (1 - 3(1 - t)^2) M_i] / 6 \quad (3.16)$$

Chamando $(y_{i+1} - y_i) / (x_{i+1} - x_i)$ de z_i e fazendo com que $S'_i(0) =$

$S'_{i-1}(1)$ para $i = 2, 3, \dots, n-1$, temos:

$$S'_{i-1}(1) = z_{i-1} + (x_i - x_{i-1}) / 6 (2 M_i + M_{i-1}) \quad (3.17)$$

$$S'_i(0) = z_i + (x_{i+1} - x_i) / 6 (-M_{i+1} - 2 M_i) \quad (3.18)$$

Combinando (3.17) e (3.18) resulta:

$$(x_i - x_{i-1}) M_{i-1} + 2 (x_{i+1} - x_{i-1}) M_i + (x_{i+1} - x_i) M_{i+1} = 6 (z_i - z_{i-1}) \quad (3.19)$$

Fazendo $u_i = (x_{i+1} - x_i)$, $d_i = 2 (x_{i+1} - x_{i-1})$ e $w_i = 6 (z_i - z_{i-1})$ tem-se um sistema de equações simultâneas como segue, assumindo a condição do "spline" natural cúbico em que $M_1 = 0$ e $M_n = 0$:

$$(3.20)$$

$$\begin{bmatrix} d_2 & u_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ u_2 & d_3 & u_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & u_3 & d_4 & u_4 & 0 & 0 & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & u_4 & d_5 & u_5 & 0 & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & u_5 & d_6 & u_6 & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & u_{n-4} & d_{n-3} & u_{n-3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & u_{n-3} & d_{n-2} & u_{n-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & u_{n-2} & d_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ M_5 \\ M_6 \\ . \\ . \\ . \\ M_{n-3} \\ M_{n-2} \\ M_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ . \\ . \\ . \\ w_{n-3} \\ w_{n-2} \\ w_{n-1} \end{bmatrix}$$

Nos anexos, um programa, codificado em linguagem C, implementa a rotina para o "spline" natural cúbico (SNC). As Figuras 3.1 a 3.3 ilustram as propriedades deste interpolador.

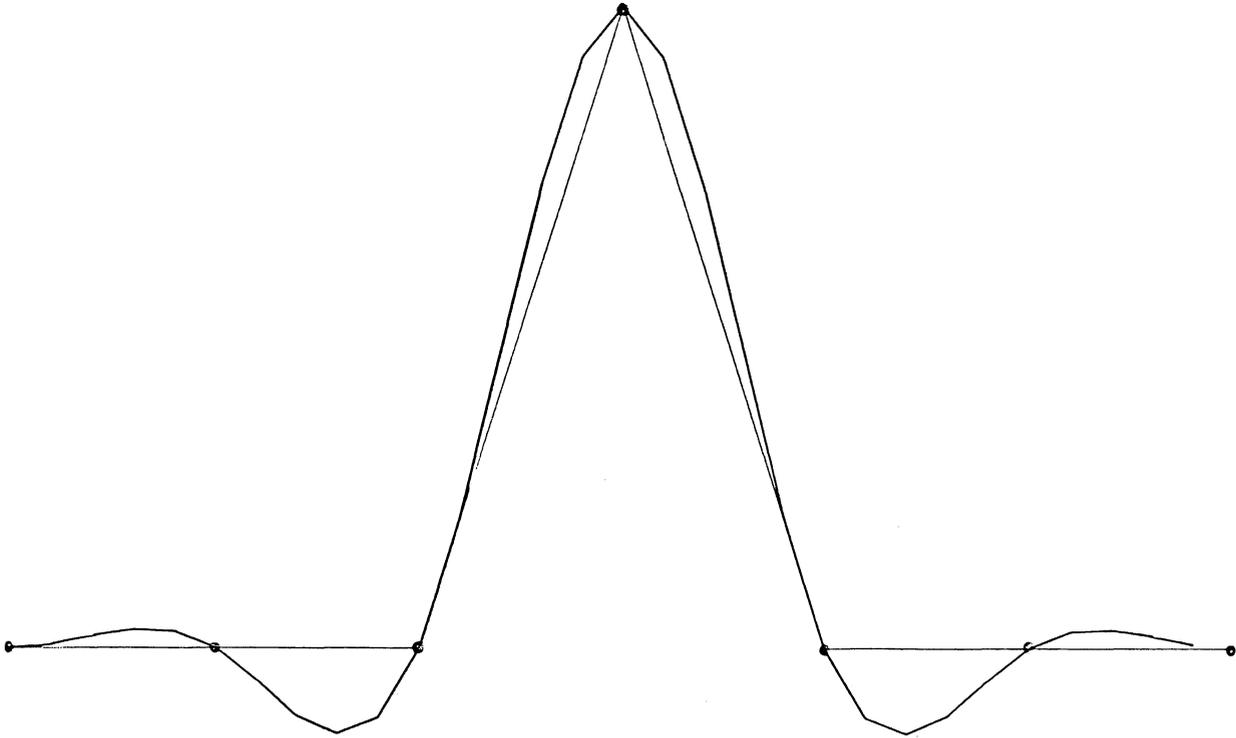


Figura 3.1: Aproximação de $\text{sen}(x) / x$ com "spline" natural cúbico.
 Comparar com as Figuras 3.4 e 3.9.

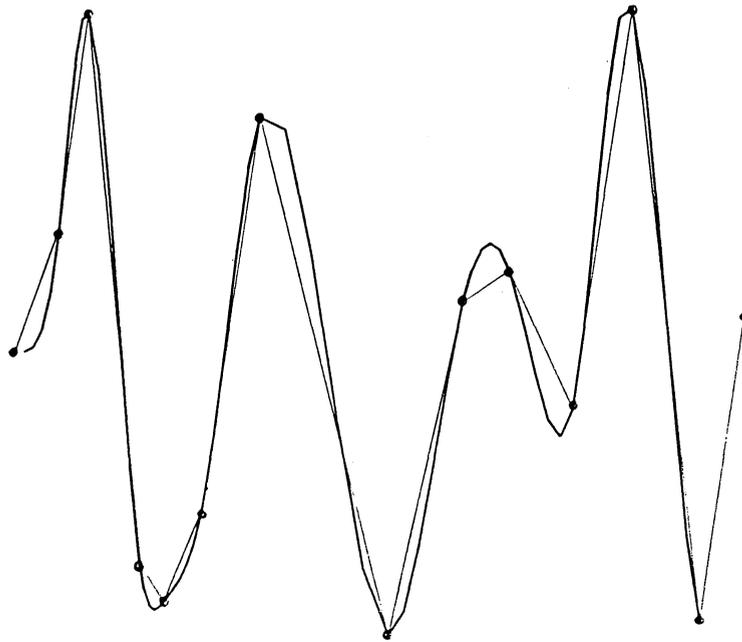


Figura 3.2: Aproximação com "spline" natural cúbico.
 Comparar com as Figuras 3.5 e 3.10.

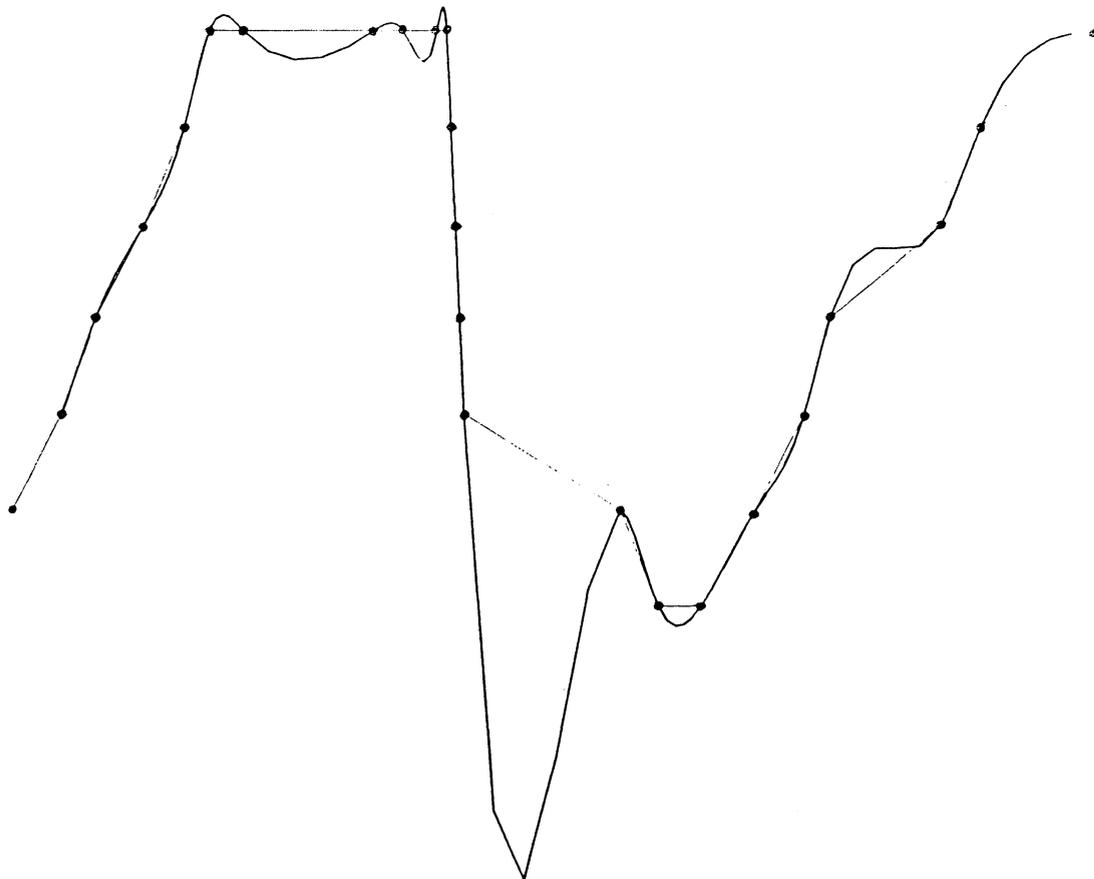


Figura 3.3: Aproximação com "spline" natural cúbico (oscilação).
Comparar com as Figuras 3.6 e 3.11.

3.4 - B-SPLINE

Segundo NEWMAN [15], "B-splines" (BS) são construídos pela mistura de funções de base, combinando os efeitos dos pontos de referência .

$$S_m(u) = \sum_{i=0}^m p_i B_{i,m}(u) \quad (3.21)$$

$S_m(u)$ representa o "B-spline" de grau m parametrizado em função de u com derivadas contínuas até a ordem $(m + 1)$.

p_i pontos de controle

$B_{i,m}(u)$ funções de base.

Há uma inteira família de curvas "B-spline", dependendo de quantos pontos de referência são permitidos para influenciar a curva em um dado instante. A equação em forma matricial para o "B-spline", no qual quatro pontos de referência exercem influência num determinado momento, conforme STEVENS [22] é:

$$S(t) = [t^3 \ t^2 \ t \ 1] \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{i-1} \\ p_i \\ p_{i+1} \\ p_{i+2} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

p_i pontos de referência.

t parâmetro. $0 \leq t \leq 1$

$S(t)$ "B-spline" aplicável no intervalo $[p_i, p_{i+1}]$

As funções de base neste caso são:

$$(-t^3 + 3t^2 - 3t + 1) / 6 \quad (3.22.1)$$

$$(3t^3 - 6t^2 + 4) / 6 \quad (3.22.2)$$

$$(-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1) / 6 \quad (3.22.3)$$

$$(t^3) / 6 \quad (3.22.4)$$

Este "B-spline" apresenta o efeito de filtro (não passa pelos pontos de referência) e se encontra parametrizado, em função de um parâmetro t . A parametrização permite sua aplicação em curvas, tais como circunferências, que assumem multivalores com respeito ao sistema de coordenadas, fazendo $X = X(t)$ e $Y = Y(t)$. As Figuras 3.7 e 3.8 ilustram a aplicação para o caso de funções que assumem multivalores. Este comportamento pode ser seguido pelos outros "splines" aqui descritos. Uma forma comum de parametrização é o uso do comprimento do arco fazendo $X = X(s)$ e $Y = Y(s)$ onde s (comprimento do arco) pode ser aproximado pelas cordas, ligando os pontos de referência.

Nos anexos, um programa, codificado em linguagem C, implementa a rotina para este tipo de "B-spline" (BS). As Figuras 3.4 a 3.8 ilustram as propriedades deste interpolador.

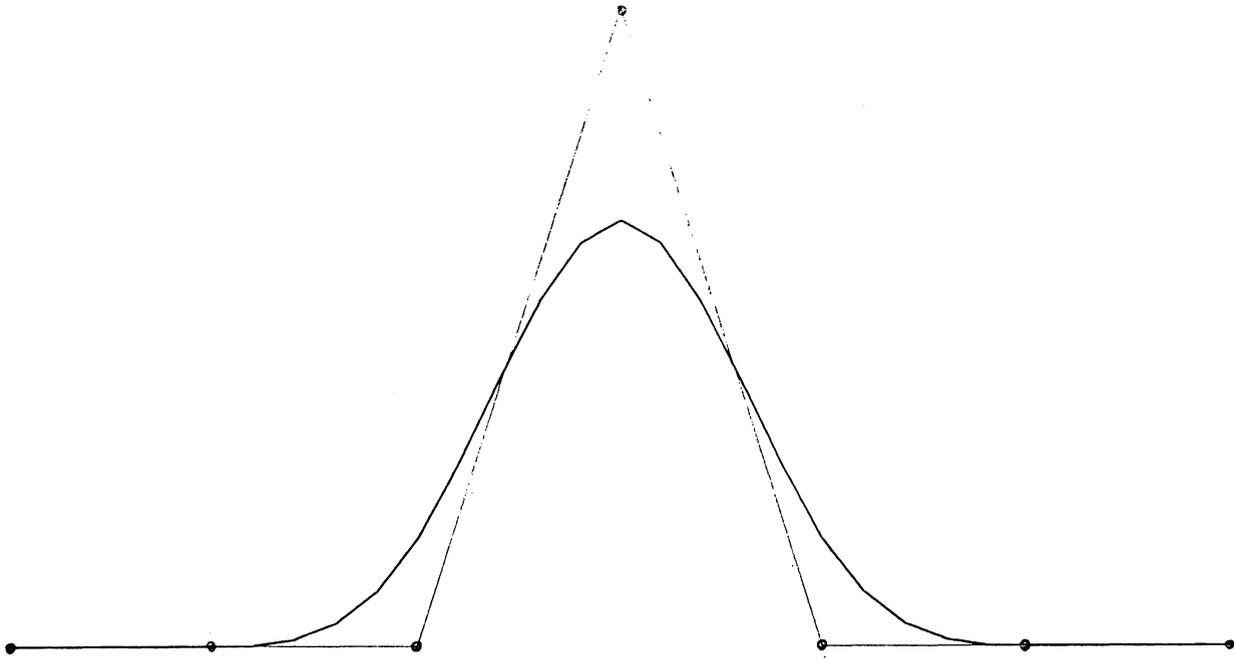


Figura 3.4: Aproximação com "B-spline" . (filtro)
Comparar com as Figuras 3.1 e 3.9.

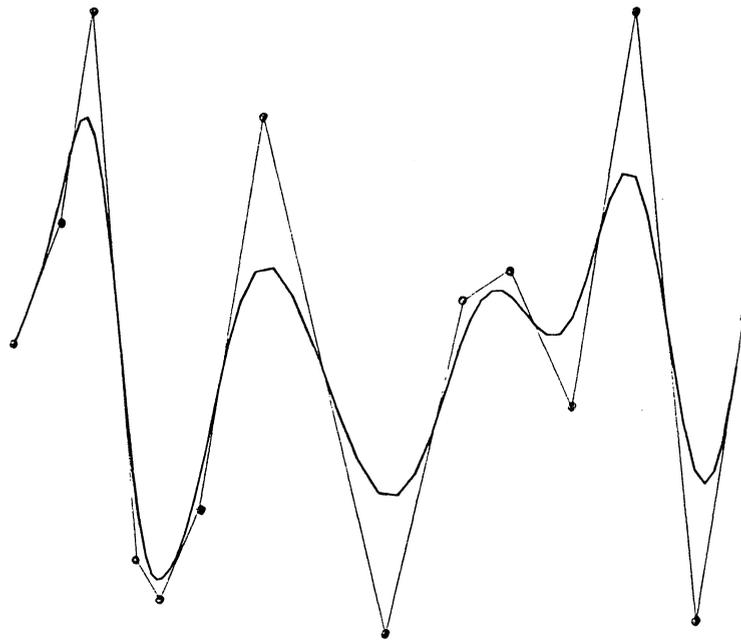


Figura 3.5: Aproximação com "B-spline" (efeito de filtro).
Comparar com as Figuras 3.2 e 3.10.

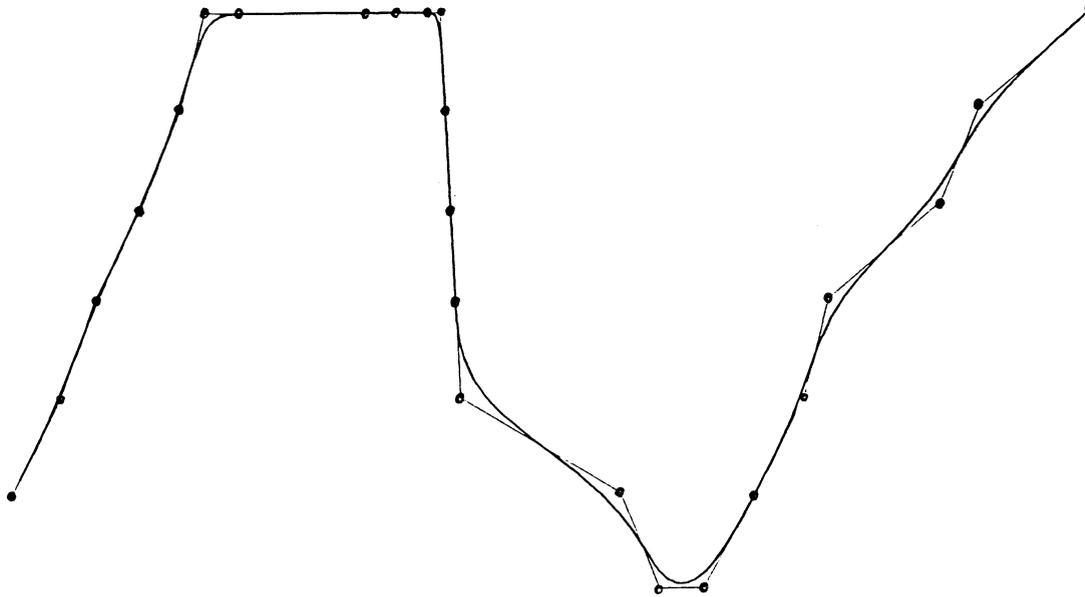


Figura 3.6: Aproximação com "B-spline" (efeito de filtro).
Comparar com as Figuras 3.3 e 3.11.

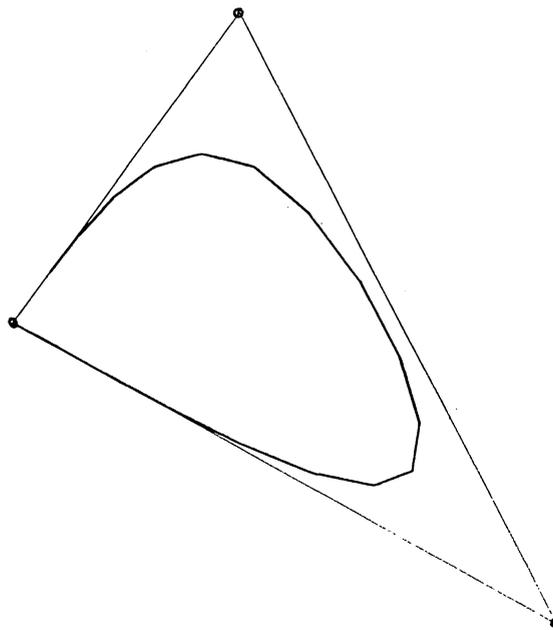


Figura 3.7: Aproximação de triângulo com "B-spline" .

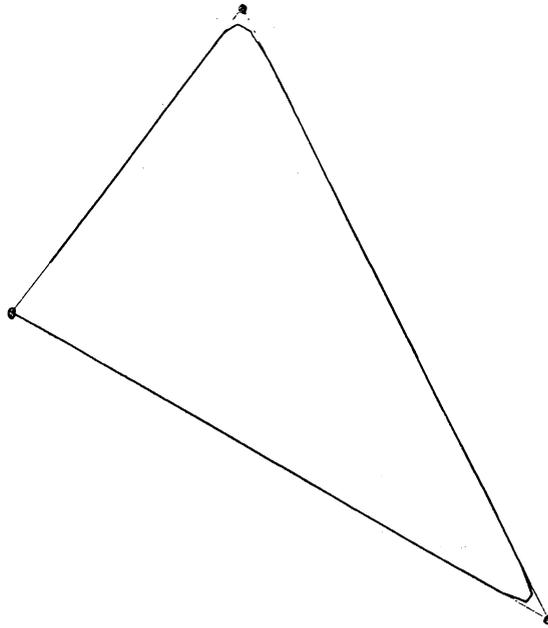


Figura 3.8: Triângulo com nó múltiplo "B-spline" .

3.5- "SPLINE" CÚBICO DE HERMITE:

Dado um conjunto de pontos de referência $g(x_1), \dots, g(x_n)$ com $a = x_1 < \dots < x_n = b$, construímos peças de um interpolante cúbico f para g como segue. Em cada intervalo $[x_i, x_{i+1}]$ temos que a f corresponde algum polinômio de ordem 4, $f(x) = H_i(x)$ para $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ para algum H_i pertencente a P_4 $i = 1, \dots, n-1$.

Ao i ésimo pedaço de polinômio H_i impõem-se as seguintes condições:

$$H_i(x_i) = g(x_i), \quad H_i(x_{i+1}) = g(x_{i+1}),$$

$$H_i'(x_i) = s_i, \quad H_i'(x_{i+1}) = s_{i+1}, \quad i = 1, \dots, n-1.$$

Desde que os polinômios H_{i-1} e H_i devem se encaixar no ponto de referência comum, impõem-se condições de que $H_{i-1}(x_i) = H_i(x_i)$ $H_{i-1}'(x_i) = H_i'(x_i)$ (primeira derivada).

Aqui, s_1, \dots, s_n são parâmetros livres correspondentes à primeira derivada. A função cúbica resultante que corresponde a g em x_1, \dots, x_n , que é contínua e tem primeira derivada contínua em $[a, b]$, independentemente de como são escolhidos os parâmetros livres s_i , é:

$$H_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^2(x - x_{i+1}) \quad (3.23)$$

Derivando em função de x :

$$H'_i(x) = b_i + 2c_i(x - x_i) + d_i[(x - x_i)^2 + 2(x - x_i)(x - x_{i+1})] \quad (3.24)$$

Chamando $g(x_i) = y_i$, $g(x_{i+1}) = y_{i+1}$ e efetuando as substituições das condições:

$$H_i(x_i) = y_i \Rightarrow a_i = y_i$$

$$H'_i(x_i) = s_i \Rightarrow b_i = s_i$$

$$H_i(x_{i+1}) = y_{i+1} \Rightarrow c_i = [(y_{i+1} - y_i) - s_i(x_{i+1} - x_i)] / (x_{i+1} - x_i)^2 \quad (3.25)$$

$$H'_i(x_{i+1}) = s_{i+1} \Rightarrow d_i = [(s_{i+1} - s_i) - 2c_i(x_{i+1} - x_i)] / (x_{i+1} - x_i)^2 \quad (3.26)$$

Na interpolação cúbica de Hermite, escolhe-se $s_i = g'(x_i)$, para todo i , fazendo com que a aproximação se torne local. Isto significa que a i ésima peça H_i depende apenas das informações na vizinhança do intervalo $[x_i, x_{i+1}]$, segundo BOOR [04]. No caso específico do presente trabalho, as inclinações s_i foram obtidas por aproximação numérica fazendo com que a primeira derivada no ponto x_i fosse igual à inclinação da reta ligando os vértices $i-1$, $i+1$. Outros esquemas para a escolha do parâmetro livre s_i podem ser adotados.

O "spline" cúbico de Hermite (SCH) é contínuo em suas "partes" somente até a primeira derivada; entretanto, ele requer a estimativa da primeira derivada em cada nodo.

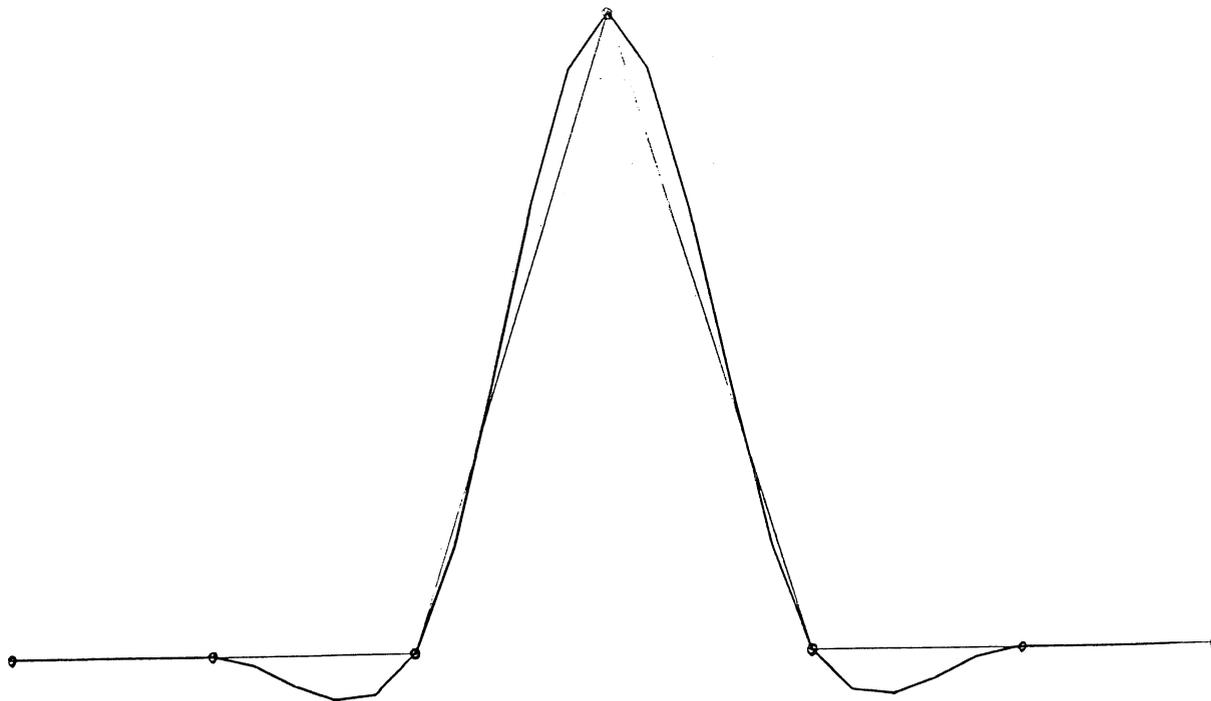


Figura 3.9: Aproximação: $\text{sen}(x)/x$ com "spline" cúbico de Hermite.
Comparar com as Figuras 3.1 e 3.4.

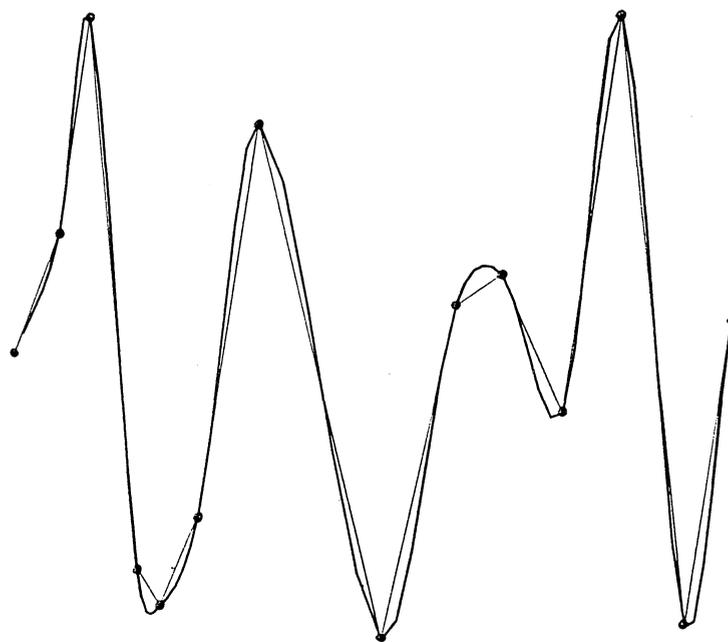


Figura 3.10: Aproximação com "spline" cúbico de Hermite.
Comparar com as Figuras 3.2 e 3.5.

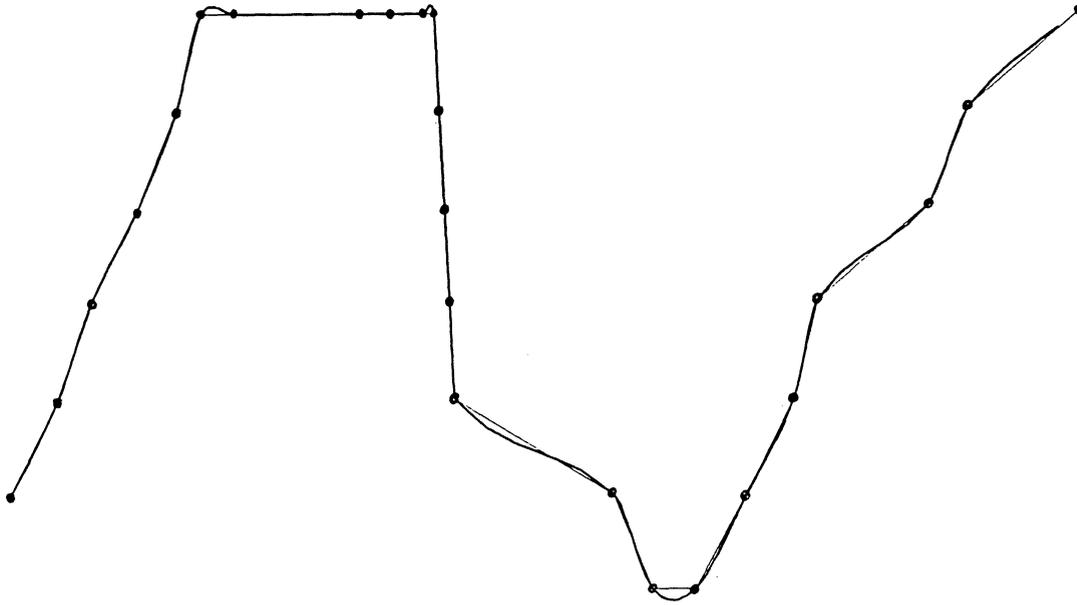


Figura 3.11: Aproximação com "spline" cúbico de Hermite.
Comparar com as Figuras 3.3 e 3.6.

Nos anexos, um programa, codificado em linguagem C, implementa a rotina para o "spline" cúbico de Hermite.

CAPÍTULO 4
METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO

Trabalhando dentro do pressuposto de que as fontes básicas de dados sejam cartas com curvas de nível e restituições digitais, optou-se por efetuar a interpolação da malha do DTM através do perfilamento das isolinhas. Além de isolinhas, pontos cotados, perfis de linhas estruturais e perfis de descontinuidades ("break lines") servem como entrada nos programas concebidos e implementados no presente trabalho. A Figura 4.1 mostra um caso típico de dado de entrada sendo que o quadro interno representa os limites da malha do DTM. Ainda na Figura 4.1 existem objetos digitalizados que não serão considerados na geração do DTM. Foram implementados meios de se definir que objetos devem servir ao processo de geração do DTM. A Figura 4.2 destaca o reforço de amostragem pela introdução de linhas estruturais e de pontos cotados.

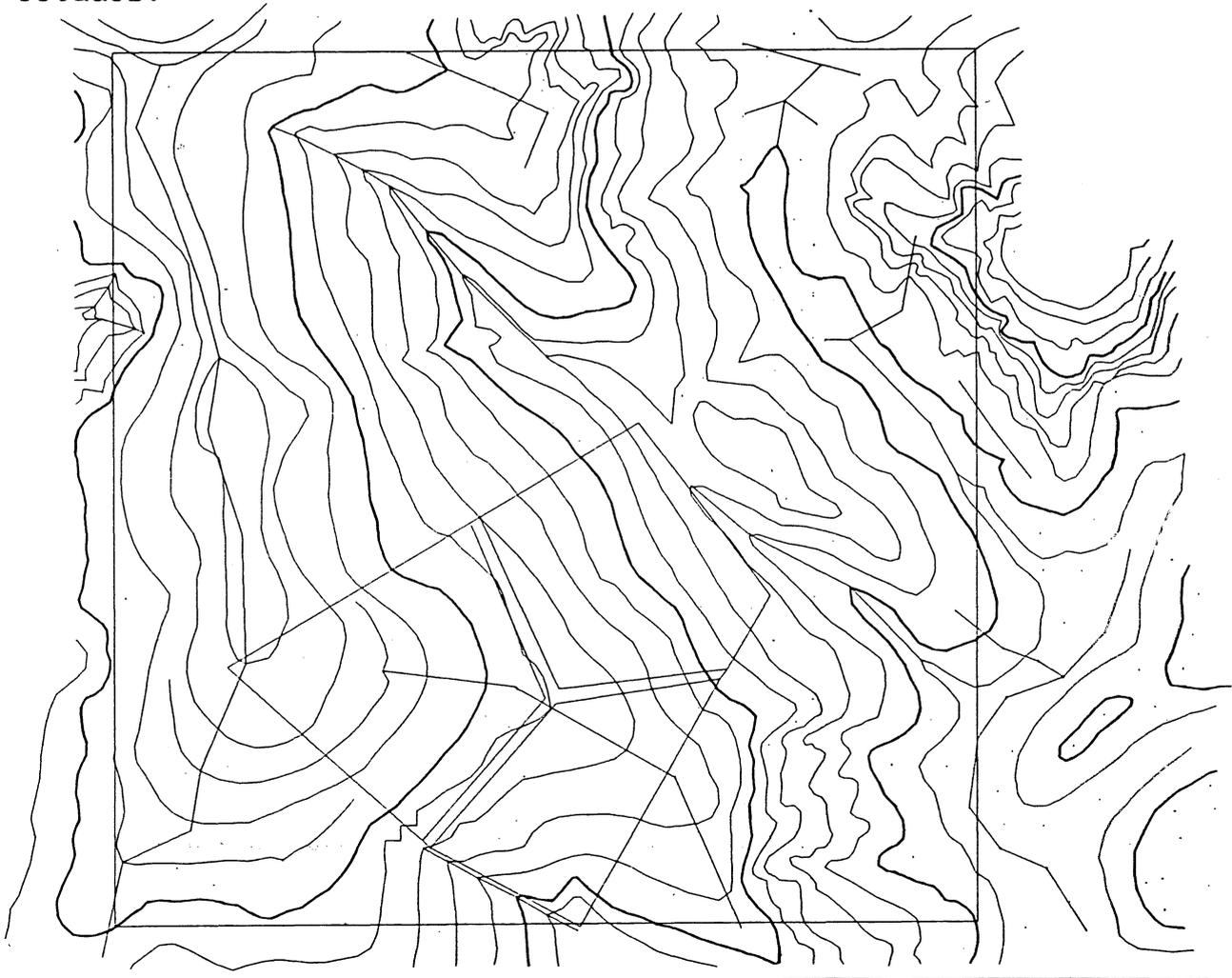


Figura 4.1 : Dados básicos de entrada e limite do DTM.
Escala = 1:35000.

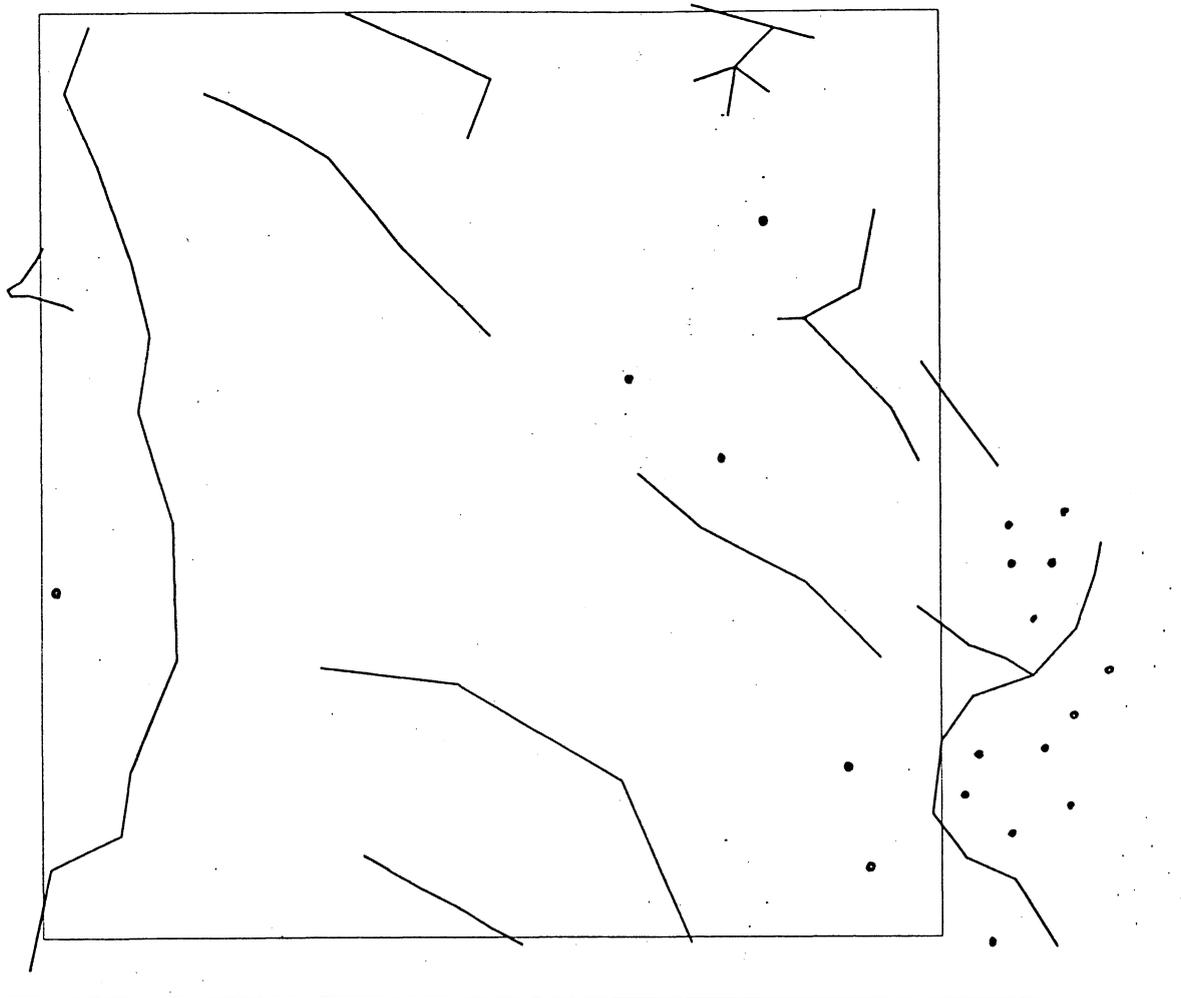


Figura 4.2 :Reforço de amostragem com linhas estruturais e pontos cotados e moldura do DTM. Escala 1:35000

A metodologia empregada para a obtenção do DTM segue as seguintes etapas, partindo-se de arquivo com os dados das curvas de nível, pontos cotados, perfis de descontinuidades, cuja descrição é apresentada no capítulo 5, item 5.3.1, e da definição das dimensões e demais informações sobre a malha de saída, contidas em um arquivo apresentado no capítulo 5, item 5.3.2:

4.1- PERFILAMENTO DAS ISOLINHAS:

Perfila-se o arquivo de isolinhas paralelamente aos eixos de coordenadas, no espaçamento desejado para a malha, resultando num conjunto de perfis cujos pontos se encontram irregularmente espaçados. Os perfis paralelos ao eixo X encontram-se organizados de cima para baixo, ou seja, do maior valor de Y em direção ao menor. Já os perfis paralelos ao eixo Y são dispostos da esquerda

para a direita, conforme a Figura 4.3.a. Os pontos são ordenados de baixo para cima dentro dos perfis paralelos ao eixo Y. Os pontos dos perfis são obtidos da seguinte maneira: Durante o perfilamento, para cada segmento digitalizado da isolinha, efetua-se um teste verificando se o referido segmento intercepta alguma das direções dos perfis. Caso isso aconteça, calcula-se o ponto de interseção através de interpolação linear. Processa-se seqüencialmente as isolinhas, armazenando-se as interseções nos perfis correspondentes. Posteriormente ordena-se, pela distância, as interseções dentro de cada perfil, de maneira a se obter o perfil propriamente dito, como apresentado na Figura 4.3.b. Da mesma forma são calculadas as interseções das linhas de descontinuidade ("break lines") com as direções dos perfis. Para os pontos cotados, estes são considerados como pequenos segmentos cujos comprimentos nas direções X e Y se definem em função do espaçamento da malha. O processamento de perfis de descontinuidades e de pontos cotados é opcional, servindo, entretanto, para melhorar a qualidade do DTM.

Os perfis darão origem a duas malhas: uma obtida dos perfis paralelos a X e outra dos paralelos a Y.

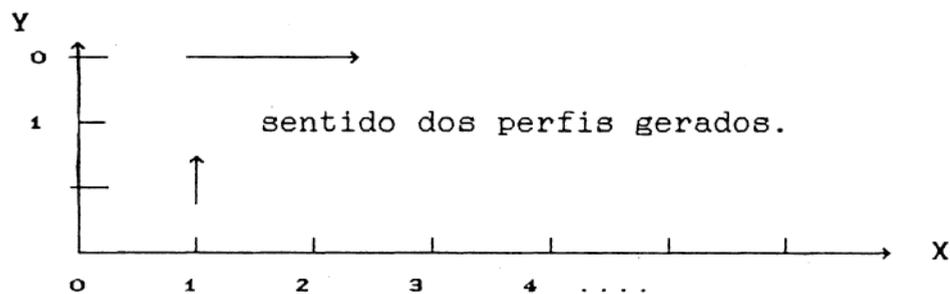


Figura 4.3.a : Orientação dos perfis.

Na Figura 4.3.b tem-se duas isolinhas. A primeira isolinha passa pelo conjunto de pontos [a,b,c,d,e,f] e a segunda por [g,h,i,j]. Estes são os pontos resultantes da interseção dos segmentos que compõe as isolinhas com a direção dos perfis. Os pontos de interseção com o perfil de índice 0 (zero) foram obtidos na ordem: [b,c,f,h,i]. Ordenando-se em função da distância constroi-se a seqüência : [b,h,i,c,f] que representa o perfil do terreno.

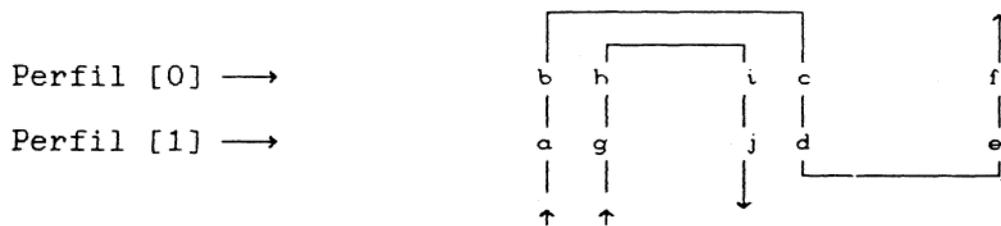


Figura 4.3 b : Formação dos perfis originais.

As Figuras 4.4 e 4.5 representam as posições dos perfis paralelos aos eixos X e Y em relação aos dados básicos de entrada mostrados na Figura 4.1. Os perfis estão representados de três em três para não sobrecarregar os desenhos. Destacam-se a posição dos perfis de número 11 e 37. As Figuras 4.6 e 4.7 mostram os perfis 11 e 37 obtidos das interseções das isolinhas e demais dados de entrada

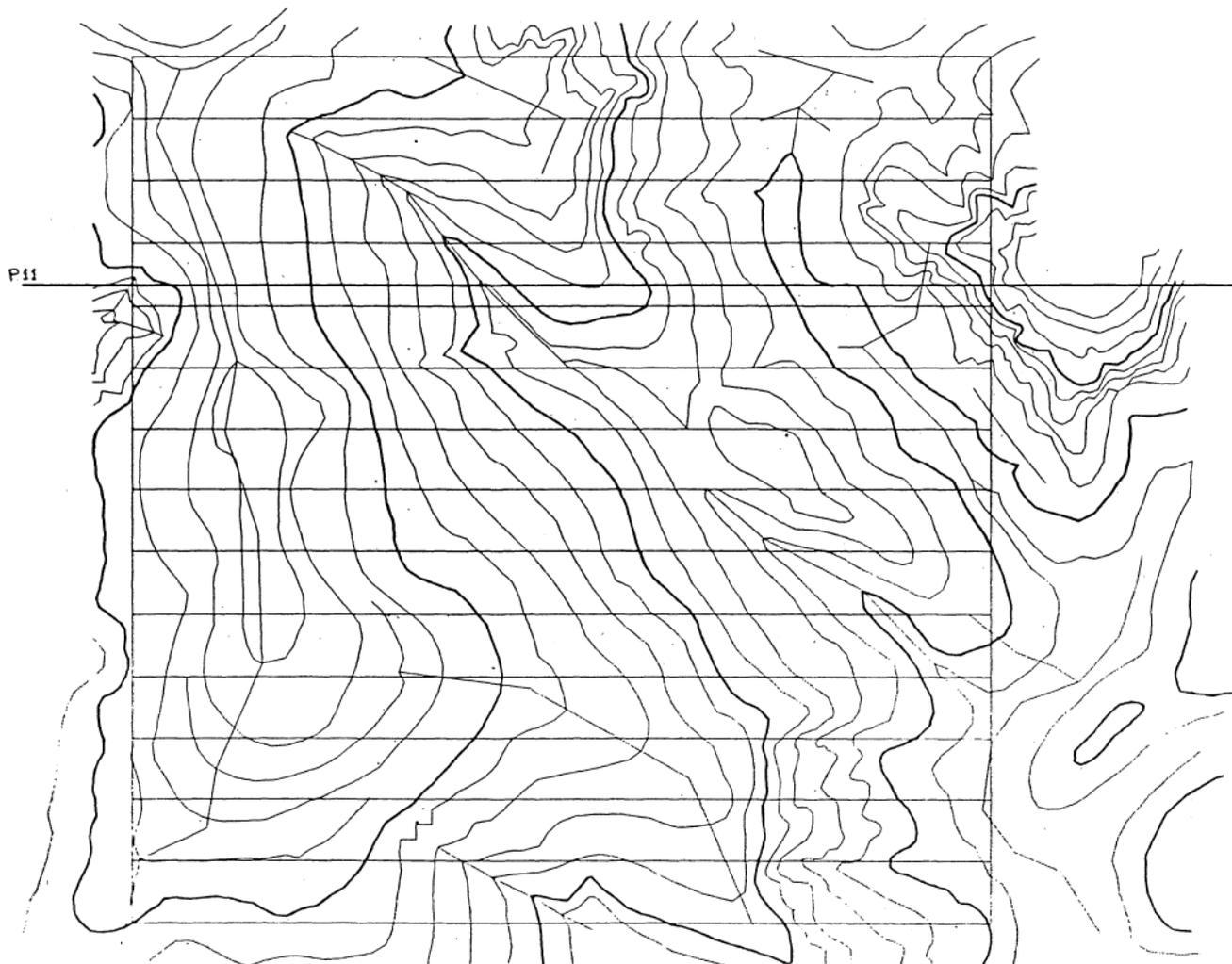


Figura 4.4: Perfis paralelos ao eixo X. (de 3 em 3 perfis), com destaque para o perfil de índice 11. Escala 1:35000.

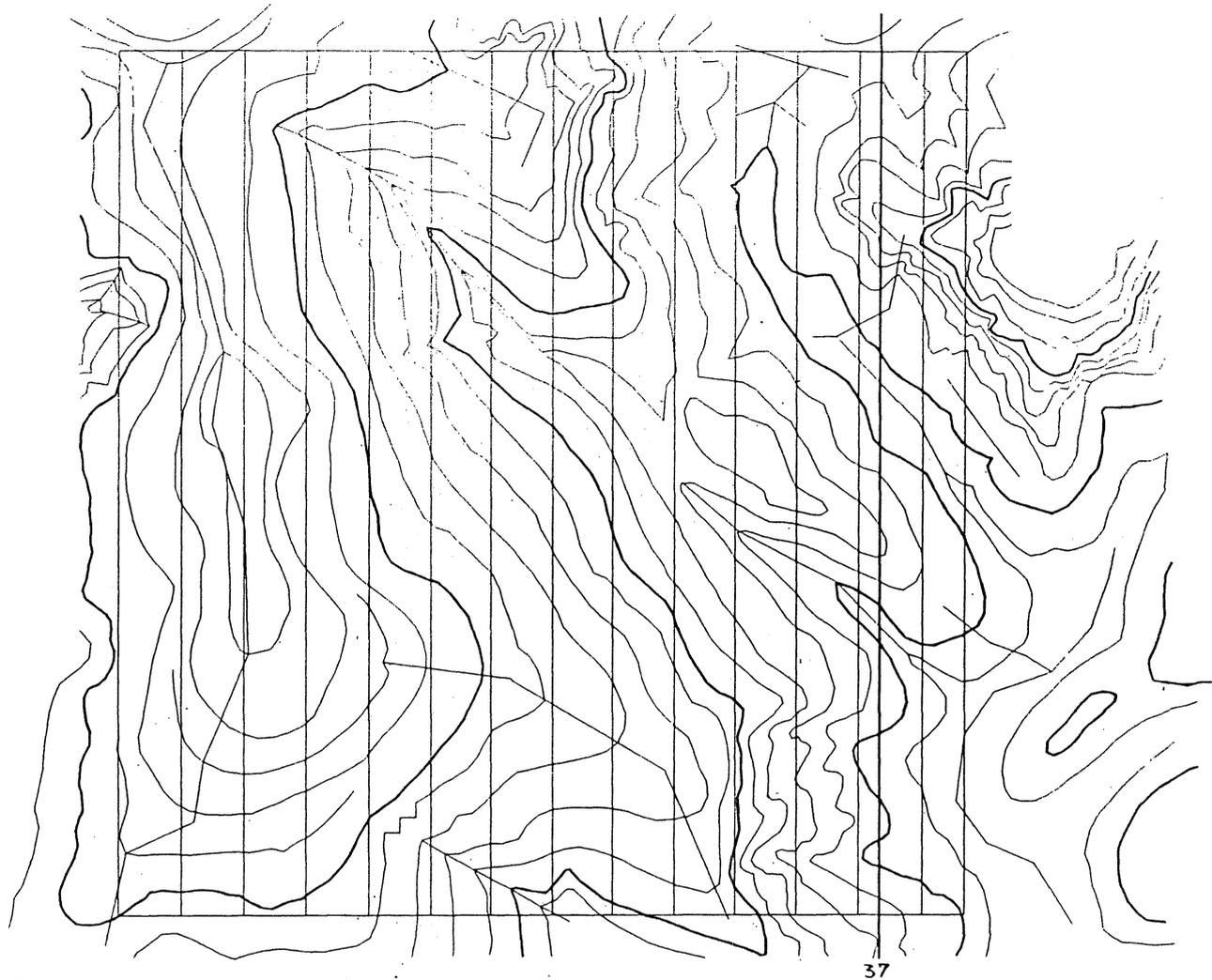


Figura 4.5: Perfis paralelos ao eixo Y. (de 3 em 3 perfis), com destaque para o perfil de índice 37. Escala 1:35000

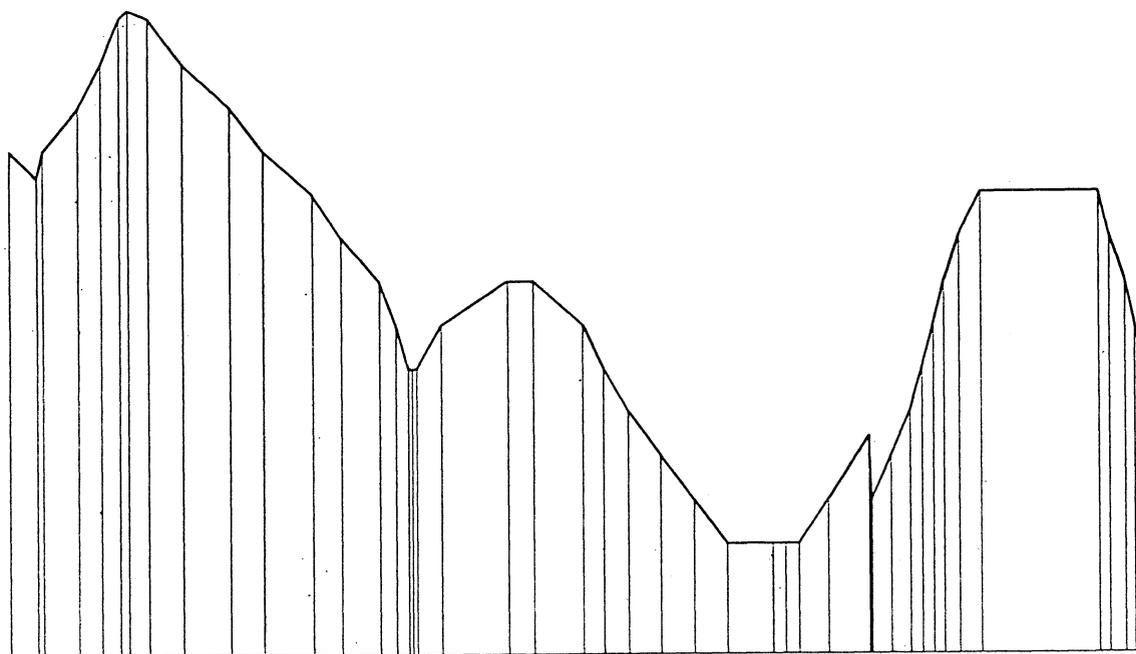


Figura 4.6: Perfil Original número 11 paralelo ao eixo X.
Escala: Horizontal = 1:35000, Vertical = ampliação de 15 vezes.

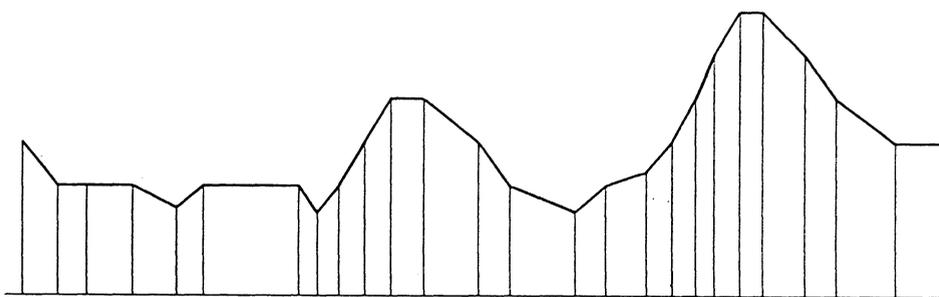


Figura 4.7: Perfil Original número 37 paralelo ao eixo Y.
Escala: Horizontal = 1:35000, Vertical = ampliação de 15 vezes.

4.2- INTERPOLAÇÃO DOS PEREIS REGULARES:

Sobre os perfis, obtidos da interseção das isolinhas com as direções das malhas, empregam-se polinômios interpoladores, apresentados no capítulo 3, gerando-se novos perfis agora com pontos igualmente espaçados. A Figura 4.8 apresenta o resultado da interpolação do perfil 11, pelo uso do "spline" natural cúbico. A comparação das Figuras 4.6 e 4.8 indica a presença de uma oscilação no ponto por onde passa o perfil 37. Na Figura 4.9 tem-se a interpolação obtida pelo uso do "B-spline", representado em traço mais forte, sobreposto ao perfil 11 original, em traço

mais fino. Nesta figura nota-se o efeito de filtro e a diferença de comportamento no ponto por onde passa o perfil 37. Na Figura 4.10 tem-se, de forma semelhante a Figura 4.9, a interpolação com o "spline" cúbico de Hermite. Na Figura 4.11 aparece a interpolação do perfil 37, com o "spline" natural cúbico, que comparada à Figura 4.7, indica a não existência de oscilação neste

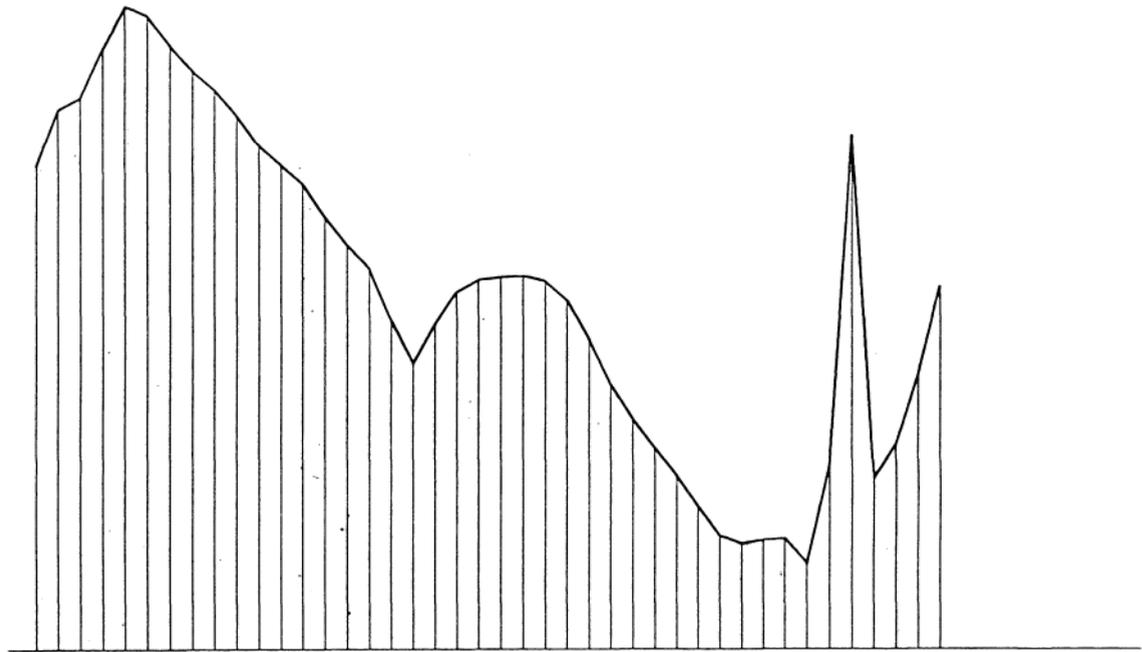


Figura 4.8 : Perfil 11 interpolado com "SPLINE" NATURAL CUBICO.
Oscilação no ponto por onde passará o perfil 37 na direção Y.
Escala: Horizontal = 1:35000, Vertical = ampliação de 15 vezes.

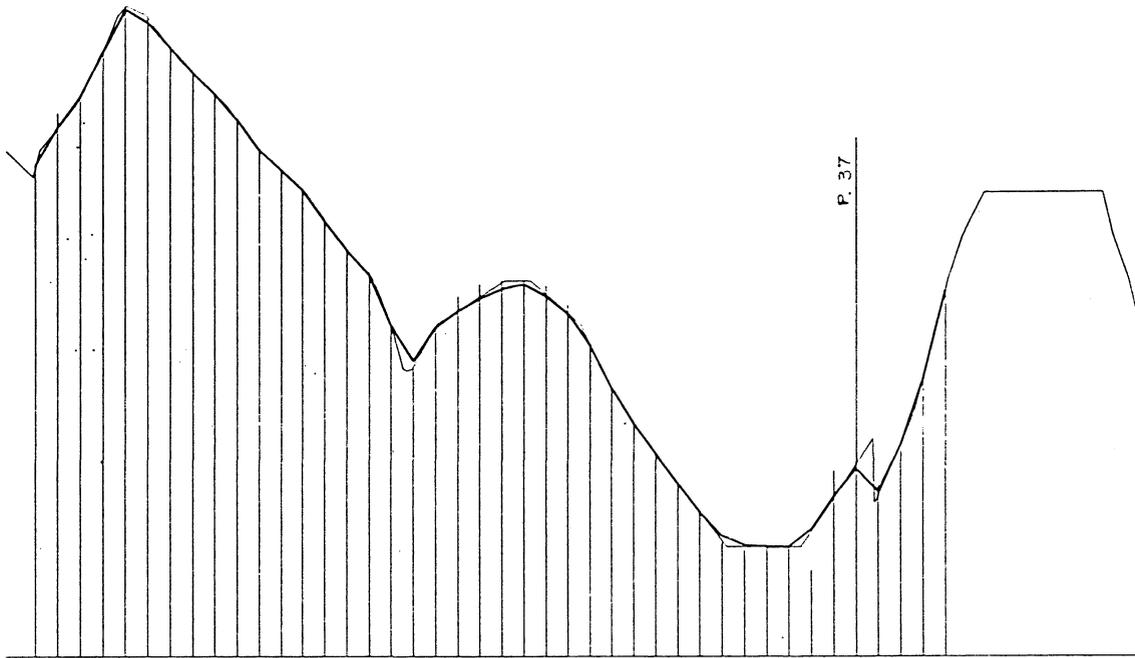


Figura 4.9: Perfil 11 interpolado com "B-SPLINE", em traço forte, sobreposto ao perfil original obtido das isolinhas.
 Escalas: Horizontal = 1:35000, Vertical = ampliação de 15 vezes.

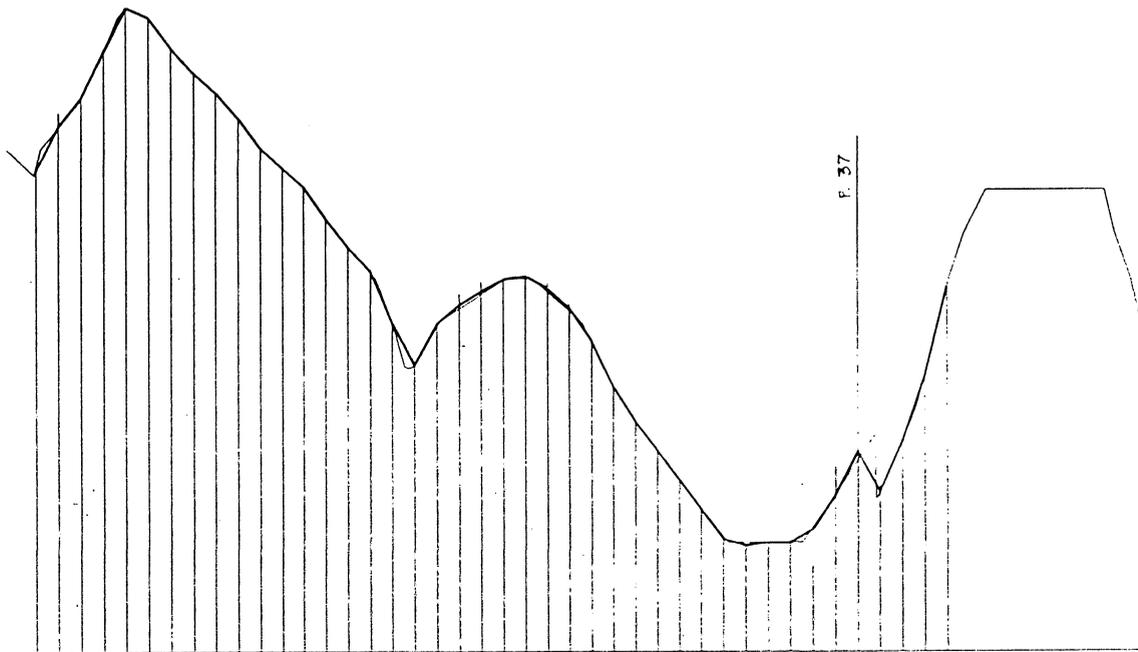


Figura 4.10 : Perfil 11 interpolado com SPLINE CUBICO DE HERMITE em traço forte, sobreposto ao perfil original das isolinhas.
 Escalas: Horizontal = 1:35000, Vertical = ampliação de 15 vezes.

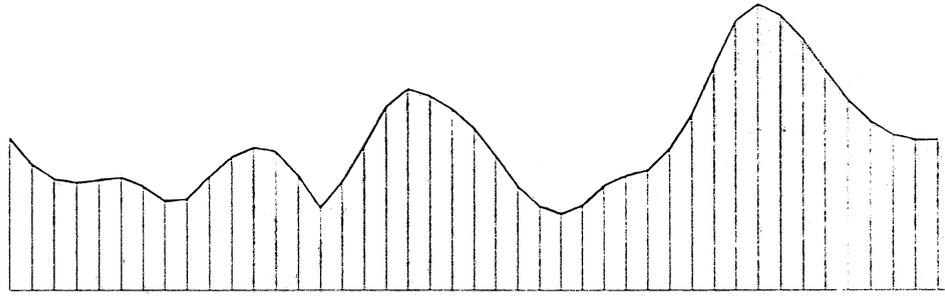


Figura 4.11: Perfil 37 interpolado com SPLINE NATURAL CUBICO.
Escala: Horizontal = 1:35000, Vertical = ampliação de 15 vezes.

4.3- FORMAÇÃO DAS MALHAS:

As malhas são compostas por uma seqüência de perfis cujos pontos se encontram igualmente espaçados (perfis interpolados). De forma a haver uma correspondência ponto a ponto, entre as malhas obtidas do perfilamento paralelo ao eixo X e do paralelo ao eixo Y, rearranjam-se os pontos dos perfis igualmente espaçados, de maneira a seguirem um esquema tipo varredura, com perfis dispostos de cima para baixo e, dentro dos perfis, os pontos numa seqüência crescente da esquerda para a direita, tal como em uma matriz organizada por linhas. Esta organização se processa apenas com os perfis paralelos ao eixo Y uma vez que os perfis paralelos ao eixo X já foram obtidos desta forma. A este processo chamou-se normalização das malhas. A Figura 4.12 representa a malha sobreposta aos dados usados na geração do DTM. Comparando-se a Figura 4.1 com a Figura 4.12 nota-se as entidades digitalizadas que não participaram da geração do DTM. Com as Figuras 4.4 e 4.5, representou-se de três em três perfis para maior clareza do desenho.

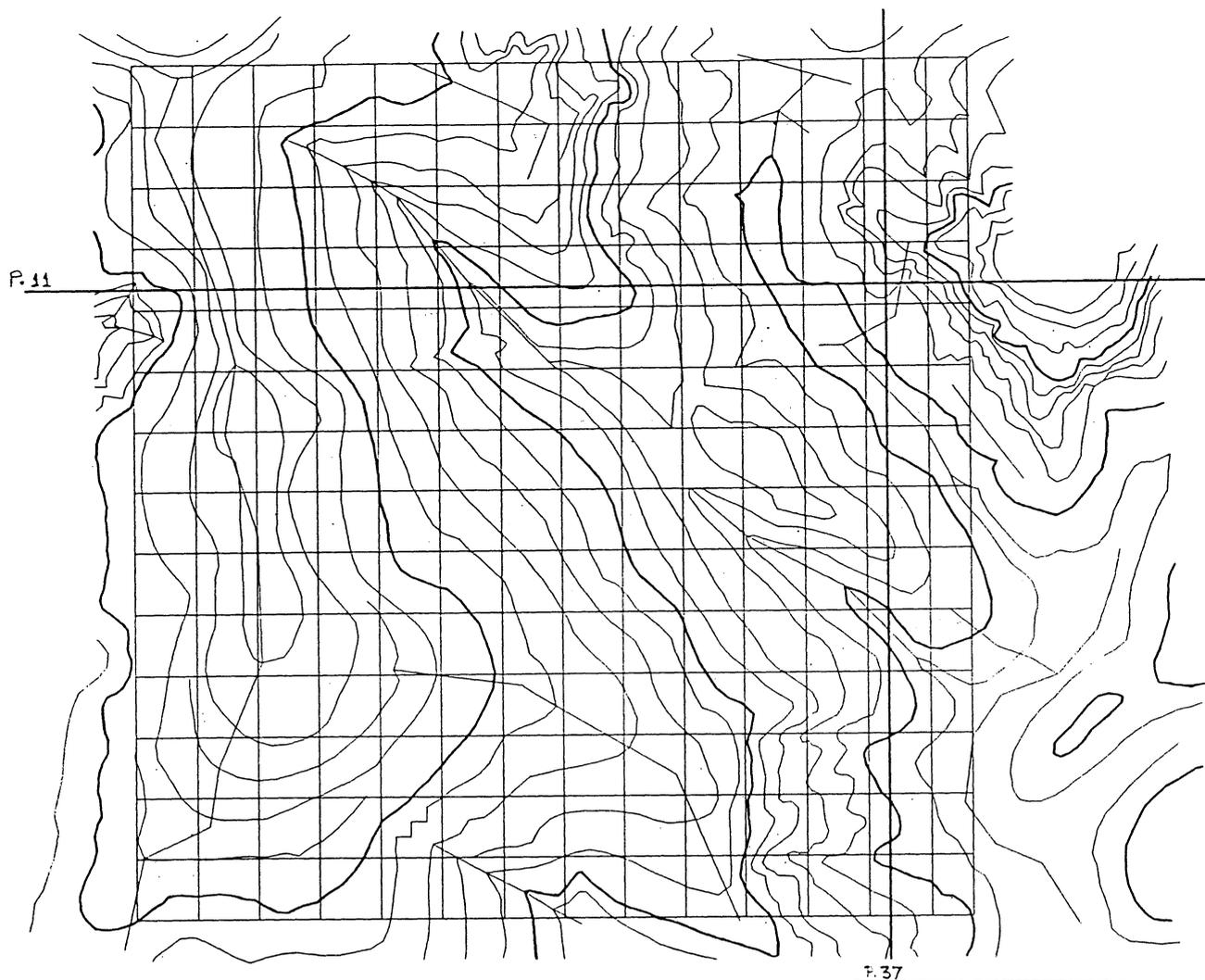


Figura 4.12: Malha obtida dos perfis regulares interpolados, com destaque para os perfis 11 e 37. Escala 1:35000.

4.4- EDIÇÃO DA MALHA FINAL:

Normalizadas as malhas, estas são combinadas, gerando uma terceira malha denominada malha final. A malha final passa por um processo de edição objetivando eliminar eventuais oscilações indesejadas. Esta edição se processa, inicialmente, de maneira automática podendo, posteriormente, sofrer assistência e influência do operador. Durante a edição automática, calcula-se a cota de cada nodo da malha final como a média das cotas das duas malhas anteriores, se a discrepância entre as cotas estiver dentro de um limiar definido pelo operador, ou escolhe-se a cota mais confiável. Define-se como cota mais confiável aquela cujo valor se afaste o menos possível do segmento, ligando os vértices anterior e posterior ao ponto em questão, dentro do perfil original correspondente, obtido diretamente das isolinhas. As Figuras 4.13 e 4.14 indicam a sobreposição do perfil interpolado com o

perfil original obtido das isolinhas. A cota mais confiável será extraída do perfil 37 de acordo com o critério apresentado anteriormente. Durante a edição assistida, são sobrepostos, no monitor gráfico, o perfil original e o interpolado de maneira semelhante as Figuras 4.13, 4.14 e 4.15. Os pontos do perfil interpolado podem ser deslocados pelo operador de forma a sanar eventuais falhas ocorridas durante a edição automática. A Figura 4.16 representa o perfil da malha final resultante de médias, de seleção de pontos mais confiáveis e de edição de pontos por parte do operador.

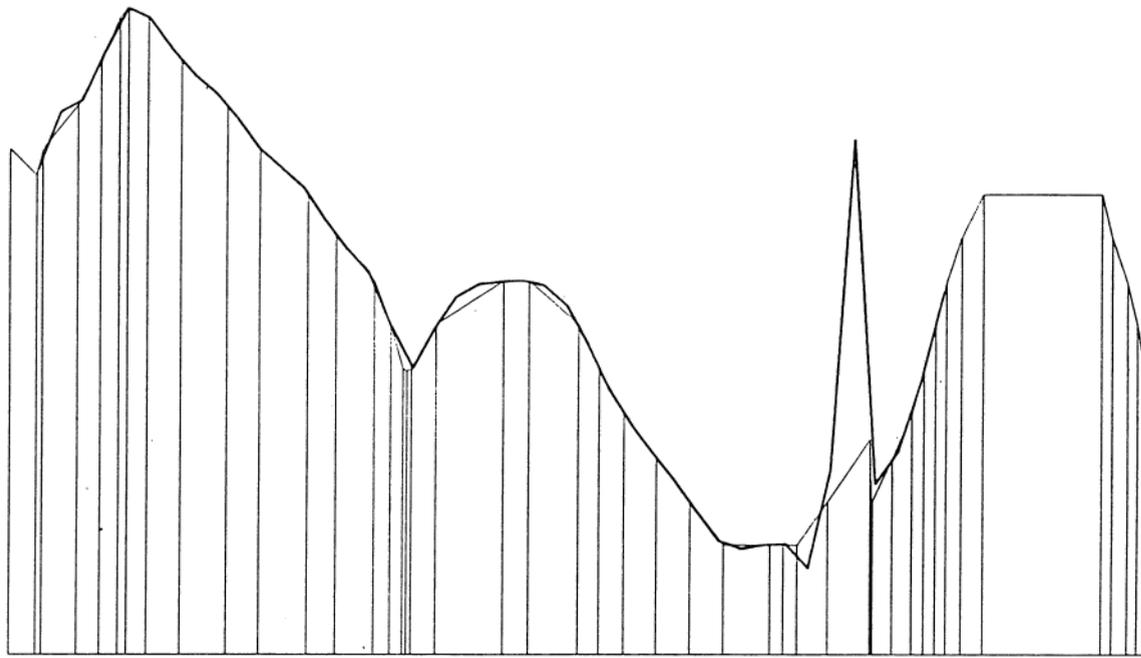


Figura 4.13: Perfil 11 Original sobreposto ao interpolado com o SPLINE NATURAL CUBICO. (visualização no processo de Edição assistida). Traço fraco: perfil original.

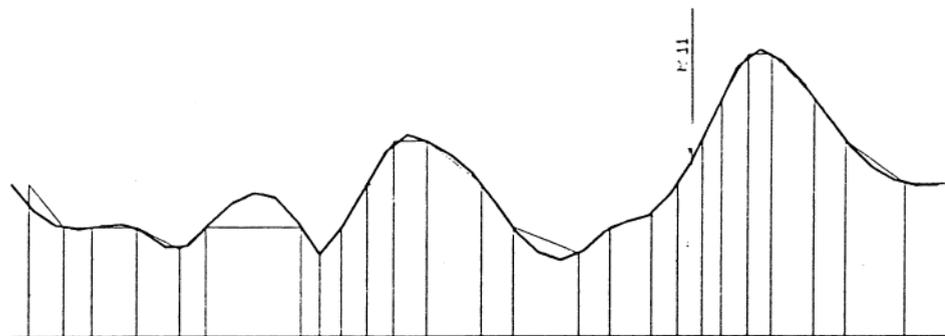


Figura 4.14: Perfil 37 Original sobreposto ao interpolado com o SPLINE NATURAL CUBICO. A linha indica o ponto de intersecção com o perfil número 11. Traço fraco: perfil original.

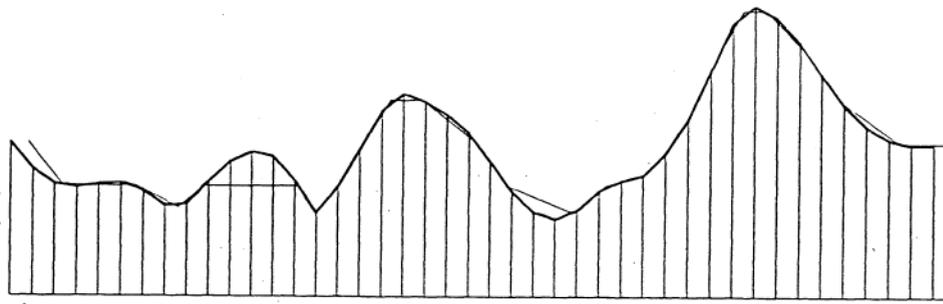


Figura 4.15 :Perfil 37 Interpolado com SPLINE NATURAL CUBICO de onde será retirado o ponto para a malha final pela edição automática. Traço fraco: perfil original.

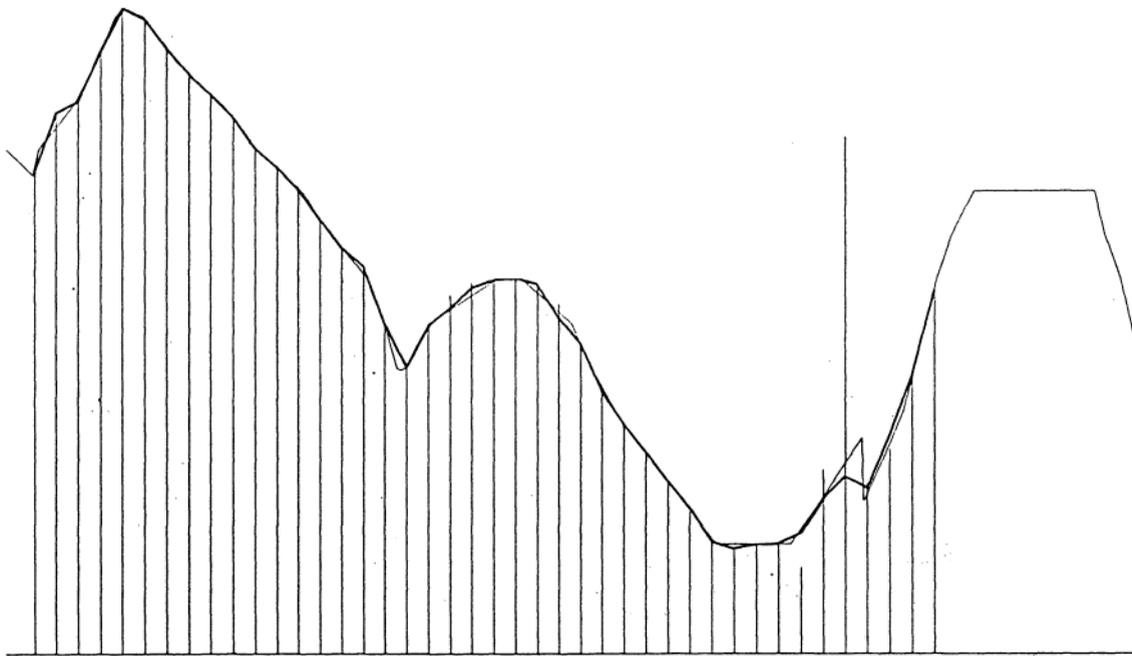


Figura 4.16: Perfil 11 após a edição automática para remoção da oscilação. (Perfil da malha final). Traço forte: perfil editado.

4.5 - COMPARAÇÃO PONTO A PONTO .

Geradas as duas malhas na etapa 4.3 e após a sua normalização, estas podem ser comparadas ponto a ponto. Confrontam-se as diferenças contra um limiar (tolerância) definido pelo operador. Como resultado dessa comparação, gera-se um relatório onde as discrepâncias são classificadas em cinco categorias, em função do desvio em relação a média do par, denominado relatório da comparação ponto a ponto ou RCPP. A média e desvio padrão da média são calculados como segue:

$$v = (Z_1 - Z_2) / 2$$

Z_1 e Z_2 cotas nas duas malhas.

$$\text{Media} = \frac{\sum v}{n}$$

v = desvio em relação a média.

n = número de pontos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum vv}{2n}}$$

σ = desvio padrão da média.

O : A cota das duas malhas é igual.

A, a : A diferença é tolerável. Implicará em média na malha final.

B, b : A diferença é maior que a tolerância e menor que duas vezes a tolerância.

C, c : A diferença situa-se entre duas e três vezes a tolerância.

Outros: Caracteriza erros acima da classe C. O erro é apresentado com letras de D...Z ou d...z dando idéia da magnitude da diferença.

T : representa no resumo final do relatório o total de pontos que se situam dentro da especificação determinada pelo operador.

Aqui, letras maiúsculas indicam Z_1 maior que Z_2 e minúsculas Z_1 menor que Z_2 .

Obviamente, esta comparação ponto a ponto não serve para estimar a qualidade do modelo gerado como um todo. Ela mede somente o comportamento do método de interpolação. Apenas se os dados de entrada forem confiáveis, esta estimativa ponto a ponto poderá ser interpretada como refletindo a qualidade do modelo gerado. Neste relatório, a concentração de classes de pontos que escapem à especificação indica as regiões com deficiência de amostragem ou adverte sobre um mau comportamento do interpolador utilizado.

Imagine-se a utilização de dados de entrada oriundos da restituição de uma região com densa cobertura vegetal. Como o operador do restituidor não consegue manter a marca flutuante

tangenciando a superfície do terreno, haverá, neste caso, um deslocamento planimétrico das curvas de nível restituídas. A má qualidade dos dados não poderá ser detectada. O modelo digital do terreno gerado a partir desses dados poderá apresentar um relatório de discrepâncias satisfatório não refletindo, entretanto, um modelo de qualidade.

A seguir exemplifica-se com os relatórios RCPP obtidos do perfilamento de uma carta 1:10000 com isolinhas eqüidistantes de 10m usados para a produção de uma malha de 100m em 100m adotando uma tolerância de $\pm 2,50m$. Os pontos que se encontram dentro da tolerância são representados por um espaço em branco para facilitar e evidenciar as discrepâncias. De forma a possibilitar o cálculo das posições dos desvios, são fornecidas as coordenadas do canto superior esquerdo da malha correspondente aos índices 0,0 e o espaçamento entre os pontos. Também são destacados os índices e valores da menor e maior discrepância observadas, representadas por V_{min} e V_{max} , o erro médio V_{medio} e o desvio padrão da média. Apresenta-se os relatórios para o "spline" natural cúbico e para o "spline" cúbico de Hermite. A oscilação que ocorre na interseção do perfil número 11 com o perfil número 37, assinalada no relatório de desvios do "spline" natural cúbico pela letra P, aparece na linha 11 e coluna 37 da Figura 4.17. A Figura 4.18 representa o resultado obtido com o "spline" cúbico de Hermite para os mesmos dados de entrada. As discrepâncias entre duas malhas também podem ser apreciadas num terminal gráfico conforme ilustrado nas Figuras 4.19 e 4.20. Nestas figuras estão representadas as classes de desvios C, c e maiores, para o "spline" natural cúbico. Adotou-se duas simbologias para diferenciar as classes. Estes símbolos são vistos com cores diferenciadas no terminal gráfico. Note-se nestas figuras o surgimento de discrepâncias quando as curvas de nível seguem paralelas aos eixos cartesianos. O processo de edição automática descrito no ítem 4.4 seleciona o ponto mais confiável para compor a malha final, quando ocorre este tipo de situação.

Tue Feb 25 16:19:19 1992

testel.BX1 x testel.BY1
43 x 42 = 1806

Origem[0,0]: E 673600.000 N 8173700.000 Passo 100.000
Vmin[1,23] -22.814 Vmax[1,32] 158.947 Vmedio 0.173 +- 3.139

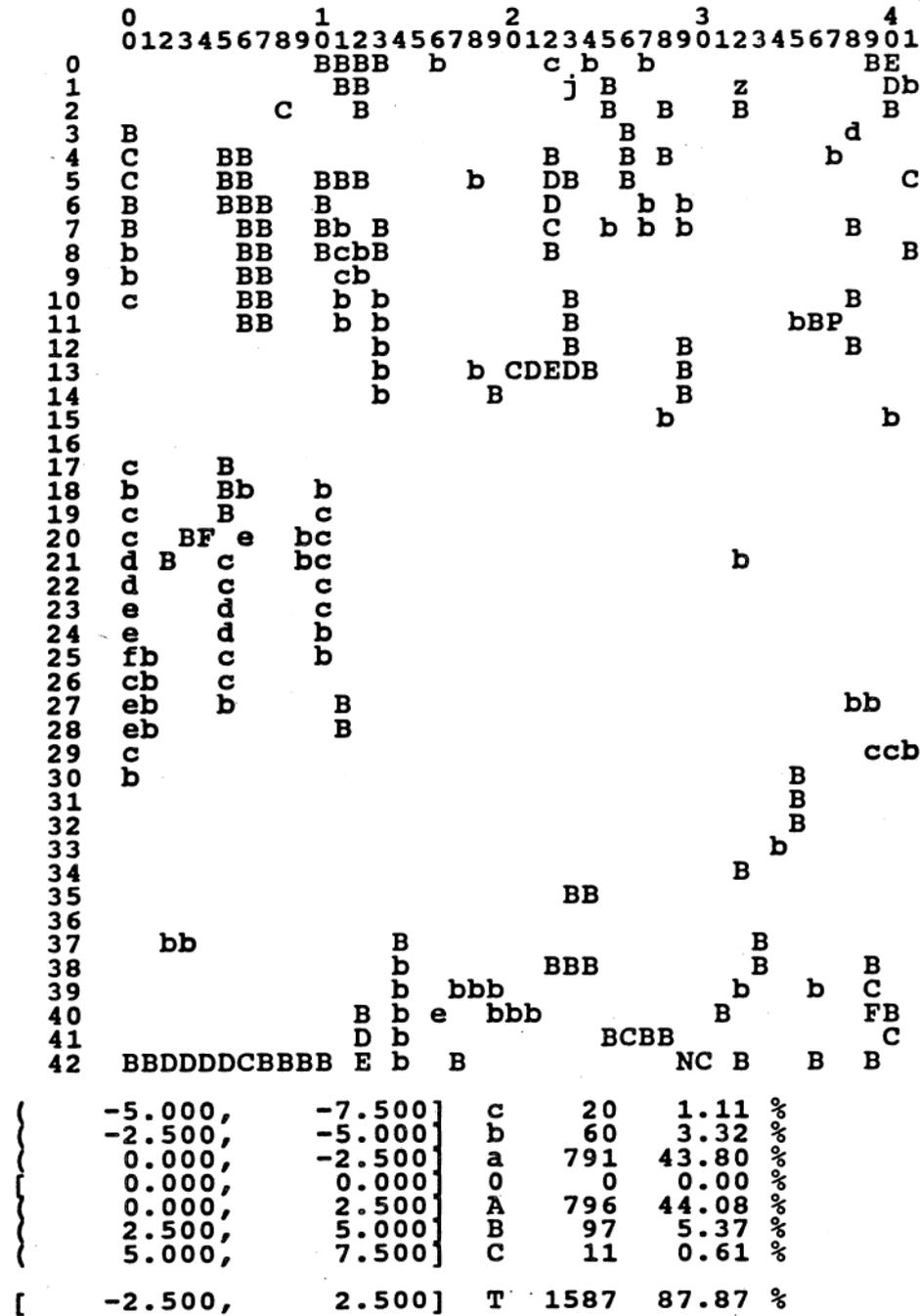


Figura 4.17: Relatório de comparação ponto a ponto RCPP entre duas malhas (Testel.BX1 e Testel.BY1) obtidas com "spline" natural cúbico.

Mon Jan 06 11:23:47 1992

teste3.BX3 x teste3.BY3
43 x 42 = 1806

Origem[0,0]: E 673600.000 N 8173700.000 Passo 100.000
Vmin[39,32] -4.609 Vmax[10,38] 4.409 Vmedio -0.012 +- 0.772

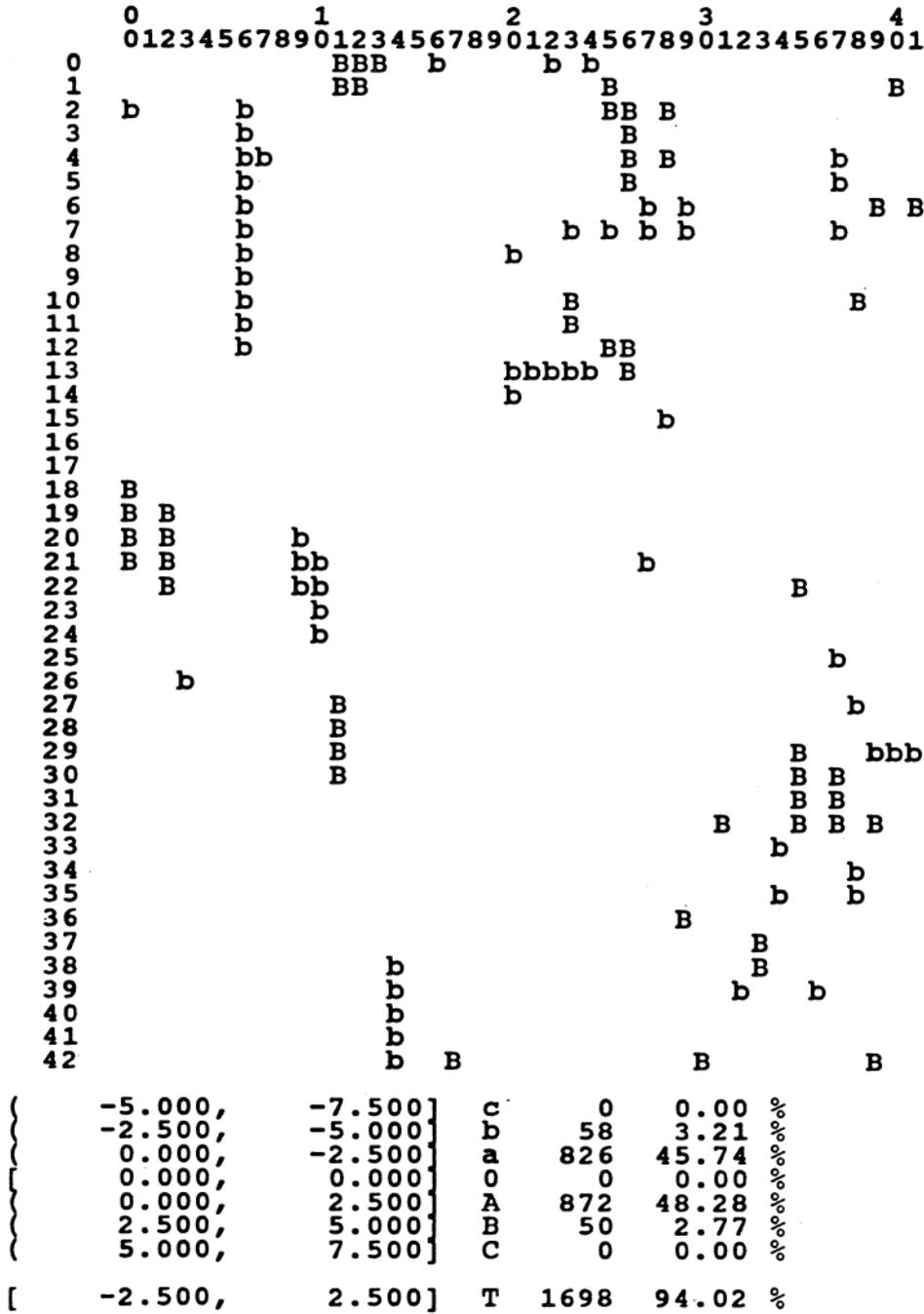


Figura 4.18: Relatório de comparação ponto a ponto RCPP entre duas malhas (Teste3.BX3 e Teste3.BY3) obtidas com "spline" cúbico de Hermite.

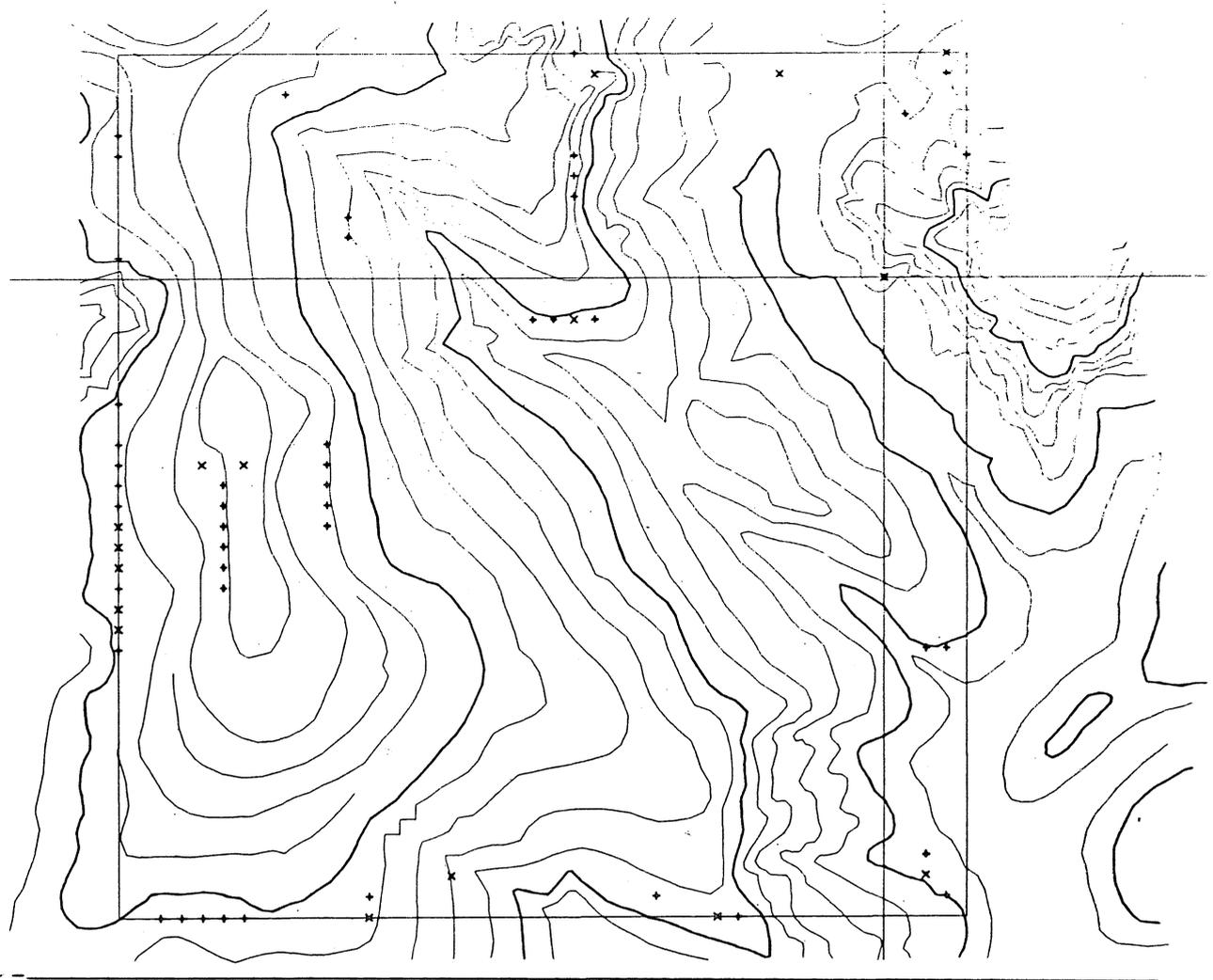


Figura 4.19: Apresentação visual das classes de desvio no monitor gráfico. + desvios entre meia e uma equidistância das isolinhas. x desvios maiores que uma equidistância. Escala 1:35000

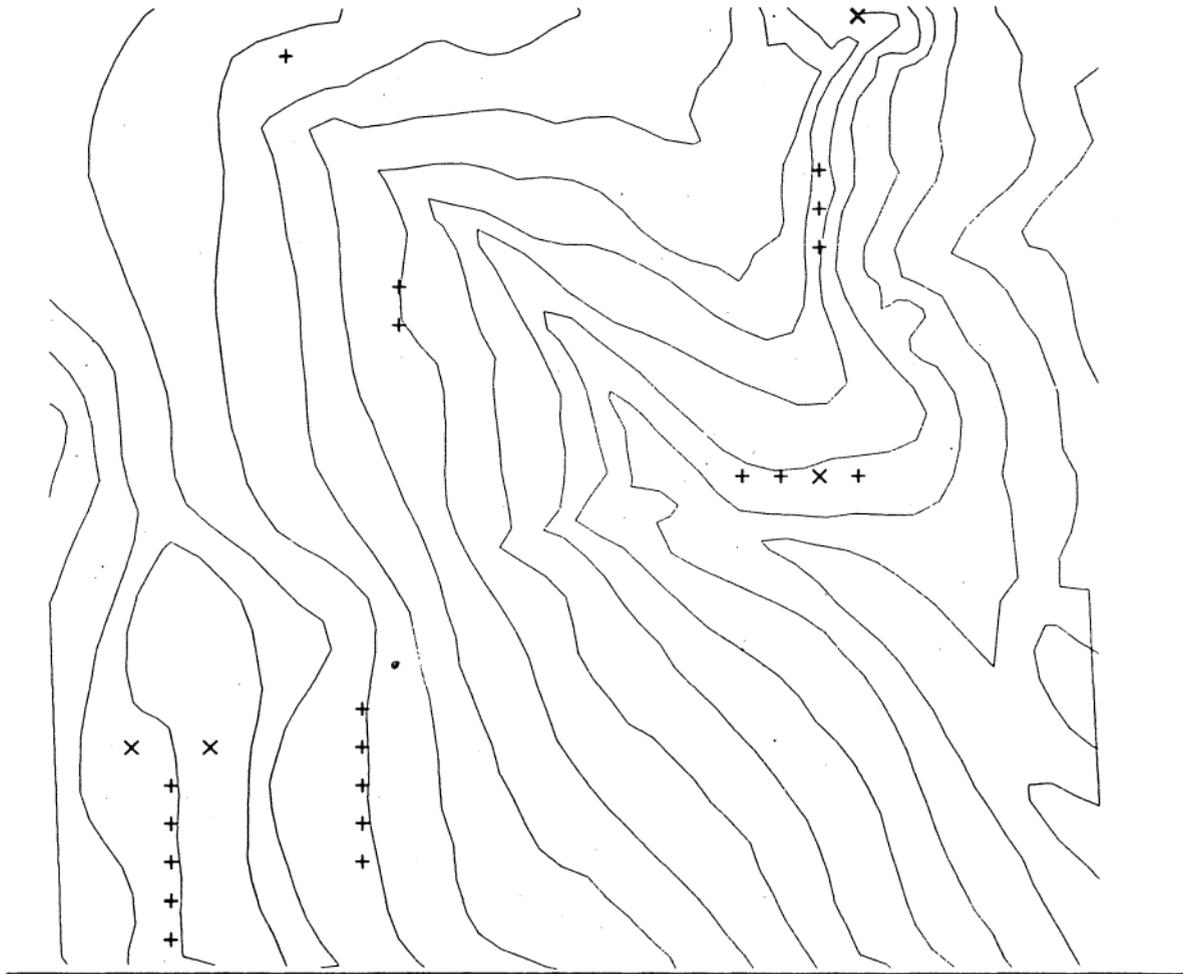


Figura 4.20: Ampliação da apresentação visual das classes de desvios com destaque para a deficiência de amostragem para o perfis paralelos aos eixos cartesianos.

4.6- DETECÇÃO DE ERROS NOS DADOS DE ENTRADA:

a) Terminada a etapa 4.1, a partir dos perfis irregulares, pode ser feita uma detecção de erros sobre o arquivo de entrada de isolinhas. Para cada perfil efetua-se a comparação entre cotas sucessivas, sendo aceitáveis as seguintes situações em função da equidistância das isolinhas:

A cota Z_{i+1} é igual a cota Z_i . (platô ou fundo de vale)

A cota Z_{i+1} é igual a cota $Z_i + dZ$ ($dZ =$ equidistância)

A cota Z_{i+1} é igual a cota $Z_i - dZ$

Qualquer outra situação indica um provável erro gerando um relatório de posições que, sobreposto graficamente aos dados originais, orienta o processo de correção. As indicações dos locais de erros são apresentados no terminal gráfico com desenhos semelhantes a Figura 4.21. No capítulo 5, item 5.5.3 apresenta-se o arquivo resultante desta detecção de erros.

b) Pontos cotados, coletados na digitalização da carta ou durante a restituição digital, e que não participaram do processo de interpolação do DTM, podem ser interpolados, a partir do DTM, de maneira a confirmá-lo. Adota-se uma função bilinear para estimar pontos no interior da malha. Um relatório, parecido com o da Figura 5.15, informa os valores observados, calculados, e as discrepâncias entre eles.

4.7- TESTE DE DISCREPANCIAS POR INTERPOLAÇÃO REVERSA.

De forma a avaliar a capacidade do DTM gerado em reproduzir os dados originais de entrada, pode-se em interpolar, a partir da malha do DTM, todos os pontos da restituição digital ou digitalização que participaram da geração do DTM. As diferenças entre o valor calculado para a cota do ponto e o valor observado (medido) podem ser classificadas, em função de uma tolerância, resultando em alguns parâmetros estatísticos. As classes de desvios para os pontos que escapem a tolerância podem ser representadas por símbolos produzindo-se uma saída gráfica similar a apresentada na Figura 4.21. A interpolação se processa de forma semelhante a descrita no item 4.6.

Quanto menor o espaçamento da malha, mais fielmente ela reproduzirá o terreno. Na Figura 4.16, por exemplo, nota-se que, para se modelar melhor o talvegue, seria necessário diminuir o intervalo entre os pontos no perfil interpolado. Embora os pontos interpolados estejam sobre a superfície do terreno, eles aparecem antes e após o ponto de mínimo do talvegue. No processo de teste por interpolação reversa, serão determinadas as diferenças entre os pontos situados sobre a linha fina (perfil original) e a linha cheia (perfil interpolado) da Figura 4.16.

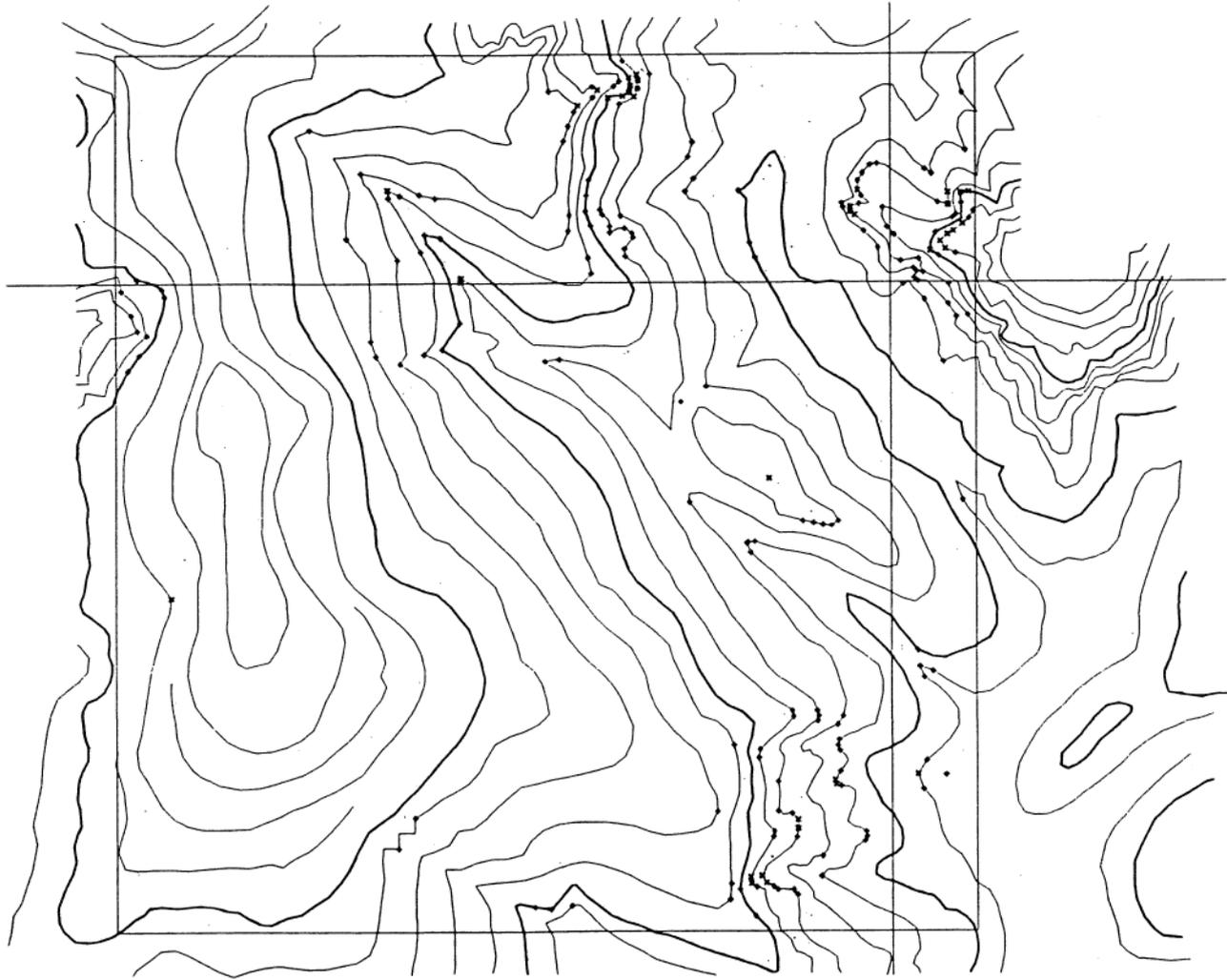


Figura 4.21: Apresentação visual das classes de desvio no monitor gráfico. + desvios entre meia e uma eqüidistância das isolinhas. x desvios maiores que uma eqüidistância. Escala 1:35000

DESCRIÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS PROGRAMAS.5.1- AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO.

Neste capítulo são descritos os programas e arquivos utilizados na geração do DTM. Esta descrição poderá servir como ponto de partida para outros sistemas, auxiliando na definição do projeto, ou para o aperfeiçoamento do sistema implementado neste trabalho.

O conjunto de programas foi desenvolvido em linguagem C sendo alguns testes implementados em Turbo Pascal. Trabalhou-se sob plataforma MS-DOS em equipamentos da linha IBM-PC tipo PC-XT com configuração básica de 640k "bytes" de memória principal, sem coprocessador, com disco rígido e placa gráfica padrão CGA, aceitando-se entretanto placas EGA, VGA, equipamentos PC-AT e 386. A arquitetura da máquina, o sistema operacional e os processadores da família x86 impõem certas barreiras em relação à memória principal além dos 640k "bytes". Dentro dos 640k "bytes" existe ainda a limitação de não se poder alocar um bloco de memória contíguo maior que 64k "bytes". De maneira a aproveitar o máximo possível a memória, dividiu-se o sistema em uma série de programas cuja ativação é controlada por um monitor através de "menus".

Os arquivos básicos de entrada e intermediários são apresentados em formato texto seqüencial ASCII de forma a possibilitar seu aproveitamento ou migração para outros programas mais facilmente. Adotou-se a convenção de inicializar a extensão do nome dos arquivos com B para os arquivos binário e S para os seqüenciais. O nome dos programas está relacionado aos tipos de arquivo manipulados.

O arquivo de entrada de isolinhas segue o formato do sistema gráfico interativo CartoCad, que foi utilizado para a coleta dos dados. Outros programas de aquisição de dados podem ser utilizados e nos apêndices há algumas rotinas para comunicação com mesas digitalizadoras e restituidores, fundamentais para a elaboração de tais programas de captura de dados.

Em todas as figuras referentes a arquivos, adotou-se o ponto decimal ao invés da vírgula para que correspondam ao que é visto e aceito pelo computador. Os arquivos binário e detalhes de operação

de alguns programas podem ser encontrados nos apêndices.

5.2- CONJUNTO DE PROGRAMAS.

O sistema consta do conjunto de programas listados a seguir:

DTM_MENU

IPE_EDIT	TXT_BPI _d	BPI_BPF	BPF_BGF	XBGF_BGF
	TXT_BPI _m	BPI_OK	BPF_SPF	BGF_BGF
	PLOTETXT	BPI_SPI		BGF_EDIT
	TXT_OK	BBL_SBL		BGF_CON
		BPC_SPC		XBPC_BGF
				XTXT_BGF
				BGF_SGF
				SGF_BGF

Além destes programas são usados o "shareware" LIST.COM, que lista em vídeo, com bastante recursos, arquivos texto e o TDMEM que exhibe o consumo de memória dos programas residentes. Figuram ainda no DTM_MENU opções que são internas a ele.

5.2.1- DTM MENU.

O programa DTM_MENU é o responsável pela ativação dos demais programas componentes do sistema. Apresenta "menus", mostrados na Figura 5.1, que são controlados pelas setas (← → ↓ ↑) pela tecla <ENTER> para confirmação e <ESC> para cancelar uma opção indesejada. A opção aparece destacada no "menu" e, na parte inferior do monitor, uma mensagem informa resumidamente a finalidade da função. Alguns programas são dependentes do resultado de outros e só entram em execução se a dependência tiver sido satisfeita. Por exemplo: para formação dos perfis regulares (por BPI_BPf), depende-se dos perfis irregulares gerados por TXT_BPI_d ou TXT_BPI_m.

Qualquer programa pode ser ativado, diretamente da linha de comando do sistema operacional, digitando-se o nome e mais um argumento. O argumento, geralmente, é o nome de um arquivo com extensão ".IPE" que contém instruções para o perfilamento e demais

etapas envolvidas na geração do DTM. A ativação direta tem a vantagem de deixar mais memória livre pela não existência de tarefa suspensa, no caso o DTM_MENU.

O programa DTM_MENU também pode ser controlado via "mouse" se este estiver devidamente instalado.

<i>Projeto</i>	<i>Arquivo_TXT</i>	<i>Perfil_Orig</i>	<i>Perfil_Reg</i>	<i>Grid_Reg</i>
Instruções Edição ← Diretório Func. DOS Versão. Termino.	TXT_BPI d TXT_BPI m Plote_TXT TXT_ok	BPI_BPf BPI_ok Exibe BPI_SPI BBL_SBL BPC_SPC	BPf_BGf BPf_SPf Exibe	xBGf_BGf BGf_BGf BGf_EDIT Exibe xBPC_BGf xTXT_BGf BGf_SGf SGf_BGf Func. DOS

Edita ou cria o arquivo IPE de instruções.

Figura 5.1: Aspecto do "menu" apresentado por DTM_MENU:

5.2.1.1- PROJETO:

Dentro do "menu" projeto tem-se as seis alternativas apresentadas na Figura 5.2:

<i>Projeto</i>
Instruções Edição. Diretório Func. DOS Versão. Termino.

Figura 5.2: Alternativas apresentadas no "menu" *Projeto*.

a) Instruções: de maneira a orientar todo o processo para a geração do DTM, constrói-se um arquivo com extensão ".IPE" denominado arquivo de instruções de perfilamento. Todos os arquivos criados pelo sistema terão o mesmo nome daquele definido como ".IPE" diferindo apenas em extensão. Por exemplo: a um arquivo TESTE1.IPE estarão associados arquivos tais como

TESTE1.BPI (Binário de Perfis Irregulares) , TESTE1.SX1 (Seqüencial com malha na direção X usando interpolador número 1), etc. Esta alternativa define o nome de arquivos ".IPE" já existentes no disco.

b) Edição: ativa o programa IPE_EDIT que cria ou edita um arquivo ".IPE" de instruções de perfilamento.

c) Diretório: esta função, interna de DTM_MENU, exhibe os arquivos do diretório em ordem alfabética. Aceita referências tipo *.* .

d) Func. DOS: envia comandos a serem executados pelo sistema operacional tais como COPY, PRINT, etc. A sintaxe do comando é aquela aceita pelo DOS. O programa LIST.COM pode ser ativado através desta opção.

e) Versão: informa data da versão atual do programa DTM_MENU.

f) Termino: finaliza a execução do programa e retorna ao sistema operacional, após a confirmação de abandono por parte do operador.

5.2.1.2- ARQUIVO TXT:

A Figura 5.3 apresenta as alternativas para a manipulação do arquivo de dados de entrada contendo as isolinhas e demais feições a serem processadas para a geração do DTM.

Arquivo_TXT

TXT_BPI d
TXT_BPI m
Plote_TXT
TXT_ok

Figura 5.3: Opções para o "menu" Arquivo_TXT

a) TXT_BPI d: ativa o programa TXT_BPId que, a partir das isolinhas contidas em arquivo ".TXT", cujo nome foi definido quando da criação do projeto ".IPE", gera os perfis originais

tanto na direção X quanto Y e armazena-os num arquivo de extensão ".BPI". Os pontos dos perfis originais correspondem a interseção das isolinhas com as direções dos perfis, conforme apresentado no capítulo 4, ítem 4.1. Os dados intermediários são armazenados em disco. A área digitalizada deve exceder aquela pretendida para o DTM para que não ocorram extrapolações.

b) TXT_BPI_m: ativa TXT_BPIm cuja finalidade é a mesma de TXT_BPId. A diferença entre os dois é que neste o perfilamento se processa inteiramente em memória. Seu uso é restrito a cartas com poucas curvas de nível e para malhas largamente espaçadas. Uma carta de 50cm * 50cm 1:50000 pode gerar cerca de 250000 pontos cotados. Isto requer aproximadamente 6 mega "bytes" para acomodar os dados em memória na estrutura de árvore binária.

c) Plote_TXT: acessa o programa PLOTETXT que exhibe no terminal gráfico o desenho de arquivos ".TXT". Esta opção permite visualizar simultaneamente dois arquivos. O primeiro pode ser por exemplo o de isolinhas e o segundo proveniente de posicionamento de erros. PLOTETXT também pode gerar saídas para impressoras gráficas padrão Epson ou HP laser e para "plotter" com linguagem HPGL ou Calcomp.

d) TXT_ok: consiste o arquivo de entrada com isolinhas, comparando os isovalores contra Z (cota). O isovalor é o valor exato esperado para a isolinha, já as cotas Z correspondem às medidas efetuadas no instrumento e transformadas para o sistema de terreno. TXT_OK mostra os máximos e mínimos dos três eixos de coordenadas, os níveis de informação e produz um arquivo de nome fixo ERROSTXT.TXT que localiza no monitor gráfico as entidades suspeitas de conterem erros. Plote_TXT pode ser usado para a visualização dos problemas. A descrição do arquivo ERROSTXT.TXT se encontra no ítem 5.5.2.

5.2.1.3- PERFIL ORIGINAL:

Como resultado do perfilamento das isolinhas, conforme descrito no capítulo 4, ítem 4.1, obtem-se um conjunto de perfis, cujos pontos se acham irregularmente espaçados, em função da

separação das curvas de nível. Estes perfis são manipulados pelas alternativas constantes da Figura 5.4.

Perfil_Orig

BPI_BPf
BPI_ok
Exibe
BPI_SPI
BBL_SBL
BPC_SPC

Figura 5.4: Alternativas para a manipulação dos perfis obtidos do perfilamento das isolinhas.

a) BPI_BPf: interpola, com o programa BPI_BPf, os perfis igualmente espaçados usando a função definida para o projeto. A interpolação se processa da maneira descrita no capítulo 4, item 4.2. Como resultado temos o arquivo com extensão ".BP#" onde # é um dígito correspondente ao interpolador utilizado. O arquivo conterá perfis nas direções X e Y.

b) BPI_ok: feito o perfilamento em TXT_BPI_d ou TXT_BPI_m, esta alternativa possibilita detectar possíveis erros no arquivo de isolinhas, conforme explanação apresentada no capítulo 4, item 4.6. Produz um arquivo de nome fixo ERROSBPI.TXT que localiza no monitor gráfico as entidades suspeitas de conterem erros. Plote_TXT pode ser usado para a visualização dos erros apontados. O arquivo de saída se encontra no item 5.5.3.

c) Exibe: mostra no monitor, tanto em forma numérica como gráfica, os perfis irregulares obtidos diretamente do perfilamento das isolinhas. Ativa-se o programa BPI_SPI com dois argumentos o primeiro o nome no projeto ".IPE" e o segundo "CON" que causa a redireção da saída para o console. Quando o desenho do perfil se encontra no terminal gráfico, as teclas J (janela) e G (global) permitem controlar a visualização ampliada de regiões. O controle da janela é semelhante ao do programa PLOTETXT.

d) BPI_SPI: converte arquivo BPI (Binário de Perfil Irregular) em SPI (Seqüencial de Perfil Irregular).

e) BBL_SBL: converte arquivo BBL (Binário de Break Line) em SBL (Seqüencial de Break Line).

f) BPC_SPC: converte arquivo BPC (Binário de Pontos Cotados) em SPC (Seqüencial de Pontos Cotados).

5.2.1.4- PERFIL REGULAR:

A partir dos perfis irregulares, obtidos das isolinhas, são interpolados os perfis com pontos igualmente espaçados, conforme descrição apresentada no capítulo 4, item 4.2. Este novo conjunto de perfis é manipulado pelas opções constantes da Figura 5.5.

Perfil_Reg

BPf_BGf
BPf_SPf
Exibe

Figura 5.5: Opções para a manipulação de perfis regulares.

a) BPf_BGf: reorganiza os dados de perfis, interpolados nas direções X e Y, com pontos equiespaçados, para o formato de malha, como explanado no capítulo 4, item 4.3. Recebe o arquivo .BP# contendo os perfis regulares e gera .BX# e .BY# onde # representa o interpolador utilizado.

b) BPf_SPf: converte arquivo BP# (Binário de Perfil Regular com interpolador #) em SP# (Seqüencial de Perfil Regular com interpolador #).

c) Exibe: mostra no monitor, tanto em forma numérica como gráfica, os perfis regulares obtidos da interpolação dos perfis irregulares e contidos nos arquivos BP#. Utiliza o programa BPf_SPf, redirecionando a saída para o monitor ao invés de arquivo.

5.2.1.5- GRID REGULAR:

Formadas as malhas do DTM, da maneira apresentada no capítulo 4 item 4.3, há uma série de operações realizadas com elas, conforme apresentado no capítulo 4, itens 4.4, 4.5 e 4.6, sendo que os recursos para tal aparecem no "menu" da Figura 5.6.

Grid_Reg

xBGf_BGf
BGf_BGf
BGf_EDIT
Exibe
xBPC_BGf
xTXT_BGf
BGf_SGf
SGf_BGf
Func. DOS

Figura 5.6: Operação realizadas com as malhas do DTM.

a) xBGf_BGf: compara ponto a ponto as malhas obtidas do perfilamento na direção X e Y contra um limiar (tolerância) definido pelo operador. Produz o relatório de discrepâncias RCPP, mostrado no capítulo 4, item 4.5, cujo nome é formado a partir das extensões dos arquivos de malha recebendo a extensão **.GG**; por exemplo, BX3_BY3.GG.

b) BGf_BGf: sobrepõe, no terminal gráfico, as isolinhas de entrada e as discrepâncias entre malhas obtidas do perfilamento nas duas direções, como apresentado no capítulo 4, item 4.5. Isto permite visualizar as regiões onde houve deficiência de amostragem ou mau comportamento da função interpoladora. As Figuras 4.19 e 4.20 ilustram a saída produzida.

c) BGf_EDIT: efetua a edição das malhas, de forma automática e assistida pelo operador, gerando a malha final conforme explanado no capítulo 4, item 4.4. A edição é feita sobre o monitor gráfico visualizando simultaneamente o perfil original, obtido do perfilamento das isolinhas, e o interpolado. Os pontos do perfil interpolado podem ser deslocados verticalmente sob controle do operador de maneira a sanar eventuais problemas causados pelo interpolador.

d) Exibe: mostra, via BGf_CON, em forma numérica e gráfica, os perfis regulares obtidos da interpolação dos perfis irregulares e contidos em arquivos de malha BX# ou BY#.

e) xBPC_BGf: interpola pontos cotados conhecidos, a partir da

malha do DTM, produzindo um arquivo de extensão .ERR, apresentado no item 5.5.4, contendo o valor observado o calculado e a diferença. A descrição deste procedimento se encontra no capítulo 4 item 4.6. A saída gráfica é semelhante a apresentada na Figura 4.21.

f) xTXT_BGf: interpola, a partir da malha do DTM, de forma global ou seletiva, os dados amostrados para a confecção do DTM conforme apresentado no capítulo 4, item 4.7. Produz um relatório mostrado no item 5.5.4, com uma estatística classificando os desvios encontrados, em função de uma tolerância. Produz também um arquivo gráfico indicando as classes de desvios através de símbolos. Este arquivo de símbolos pode ser sobreposto às curvas de nível. A saída gráfica produzida é semelhante a apresentada na Figura 4.21. O nome do arquivo gráfico é o mesmo do de isolinhas trocando-se a extensão para .X.

g) BGf_SGf: converte arquivo BX# ou BY# (Binários de malha na direção X ou Y com interpolador #) em seqüencial SX# ou SY#.

h) SGf_BGf: converte arquivos seqüenciais, dados em formato compatível com os SX# e SY#, em BX# ou BY# (Binários de malha na direção X ou Y com interpolador #).

i) Func. DOS: recebe e transfere comandos a serem executados pelo sistema operacional. Utiliza-se normalmente esta opção para observar os relatórios da comparação ponto a ponto RCPP produzidos por xBGf_BGf.

5.3- FORMATO DOS ARQUIVOS DE ENTRADA:

Para auxiliar o processo de desenvolvimento, optou-se por trabalhar com arquivos seqüenciais para entrada dos dados. O formato destes arquivos será apresentado a seguir:

5.3.1- ARQUIVO DE ISOLINHAS .TXT:

O arquivo .TXT de isolinhas segue o formato do sistema gráfico interativo CartoCad, que foi utilizado para a coleta dos dados. As feições, denominadas entidades no sistema CartoCad, são

organizadas em níveis (planos) podendo haver um total de 1024 planos. As entidades, são identificados dentro do arquivo através de uma letra contida na coluna 1 . Há vários tipos de entidades; o presente trabalho restringir-se-á àquelas consideradas na geração do DTM uma vez que as demais são descartadas. São elas:

P: polilinhas. Interpretadas como perfis de descontinuidades.
I: isolinhas. Descrevem as curvas de nível.
Z: pontos cotados

1: registro de coordenadas de pontos em linhas retas.
2: registro de coordenadas de pontos em concordâncias em "spline".

A Figura 5.7 mostra um exemplo onde, resumidamente, são apresentados os tipos de registro. A seguir tem-se um breve comentário sobre cada um dos tipos de registro seguidos de um pequeno exemplo. Para maiores detalhes ver CARTOCAD |05|.

Os dois primeiros registros da Figura 5.7 são informativos mas devem constar em qualquer arquivo .TXT. Os quatorze registros seguintes definem o enquadramento (moldura envolvente) e não têm utilidade para o presente sistema, sendo descartados por este.

Registro Tipo D: descritor de nível. Deve preceder cada nível e contém os campos definidos na máscara e exemplo a seguir:

DnnnnCCCCcccccccccccccc
D008004Isolinhas

D: Registro chamado de *descritor* de nível.
nnnn : Nível (plano) de informação varia entre 0 e 1023.
CC: Informa a cor, entre 0 e 15.
cccccccccccccc: Comentário sobre o conteúdo do nível.

Registro Tipo I: consta do tipo, nível, e do isovalor representado em formato de 7 dígitos com duas decimais, ajustado à esquerda ou seja escrevendo-se da esquerda para a direita e sem espaços em branco à esquerda. A este tipo segue um conjunto de registros tipos 1 e ou 2 descrevendo a curva.

Innnnzzzzzzz
I0080350.00


```

<< CartoCad - Versao 2.00 - Arquivo: EXEMPLO.TXT
<< Data: 22/08/1991 - Hora: 12:14 - Bytes: 1025106
G1.00
D000009Enquadramento...
E00001010000
1 428000.009043000.00 0.0001
1 428000.009043900.00 0.0001
1 429000.009043900.00 0.0001
1 429000.009043000.00 0.0001
1 428000.009043000.00 0.0001
L0000
1 428100.009043100.00 0.0001
1 428100.009043800.00 0.0001
1 428900.009043800.00 0.0001
1 428900.009043100.00 0.0001
1 428100.009043100.00 0.0001
D008004Isolinhas
I0080350.00
1 428694.479043712.94 350.0801
2 428735.909043694.62 350.0801
2 428730.249043671.21 350.0801
2 428691.039043678.73 350.0801
1 428675.029043717.60 350.0801
1 428689.369043715.09 350.0801
1 428694.479043712.94 350.0801
D077702Descontinuidade
P0777Estrada
1 428600.159043114.00 350.1209
1 428612.159043328.18 382.4709
1 428815.609043528.18 391.2309
1 428625.609043714.00 401.0809
I0080350.00
2 428682.319043510.56 460.0001
2 428685.919043471.70 460.0001
2 428658.299043455.57 460.0001
2 428639.529043468.42 460.0001
I0008470.00
2 428650.549043498.60 470.0001
2 428634.919043534.99 470.0001
2 428673.229043510.61 470.0001
2 428669.209043496.60 470.0001
2 428650.549043498.60 470.0001
D000714cota
Z00070090010.00
1 428312.009043286.96 337.82
1 428352.009043286.96 337.82
Z00070090010.00
1 428348.069043485.12 336.79
1 428388.069043485.12 336.79
S10230020.00
1 677925.588170064.23 870.1201
D000101 Sem Título
T00010060.00
1 428658.149043305.01 384.28
W23441117

```

Figura 5.7: Fragmento de um arquivo TXT com dados da digitalização ou restituição digital.

5.3.2- ARQUIVO DE INSTRUÇÕES DE PERFILAMENTO .IPE:

O programa IPE_EDIT edita ou cria arquivos ".IPE" contendo as instruções para a geração do DTM. Existindo o arquivo, exibe-se em tela para edição. Caso contrário, uma mensagem informa e solicita confirmação para sua criação. A tela de edição apresenta o conteúdo da Figura 5.8, para o caso da existência de um arquivo, por exemplo: TESTE3.IPE :

<ENTER> sem dados preserva valor anterior

Arquivos:
 Instruções .IPE: TESTE3.IPE _____
 Entrada TXT : CVRD.TXT _____
 Recorte TXT : RCVRD.TXT _____
 Limites da Malha: 44 x 43 * X máximo: 677700.000
 Y máximo: 8173700.000

X mínimo: 673600.000 *
 Y mínimo: 8169500.000
 Espaçamento (m) : 100.000 _____ Tolerância (m): 2.500
 Interpolador (+ -) HERMITE
 Número dos Níveis a Processar: Confirma os Dados (s/N) ? _____
 7 8 80 90 100 110 777

Figura 5.8: Tela do programa IPE_EDIT.

C	teste3.IPE	Registro tipo C comentário.
C	Tue Nov 26 08:37:11 1991	
A	cvrd.txt	Arquivo de entrada de isolinhas.
R	rcvrd.txt	Arquivo de recorte de fronteira.
c	..... Janela:	
J	673600.000 8169500.000	Sudoeste
J	677700.000 8173700.000	Nordeste
T	2.500	Tolerância das malhas.
c	..... O registro tipo D deve vir antes dos X e Y.	
D	44 43	Dimensão: 44 perfis // ao eixo X e 43 // a Y.
F	3	Número do interpolador.
E	100.000	Espaçamento da malha.
c	..... Definição dos perfis.	
X	673600.000 677700.000 100.000	
Y	8169500.000 8173700.000 100.000	
c	.....Tipo I níveis (isolinhas) a processar.	
I	7	
I	8	
I	80	
I	90	
I	100	
I	110	
I	777	

Figura 5.9: Conteúdo do arquivo .IPE:

Na primeira coluna do arquivo de instruções, exemplificado na Figura 5.9, há o tipo de registro e nas demais as informações que devem ser separadas por pelo menos um espaço em branco:

Tipo C : registros de comentário. Podem aparecer em qualquer quantidade dentro do arquivo .IPE e em qualquer posição.

Tipo A : nome do arquivo de entrada. O nome pode incluir inclusive a rota ("path"). Este arquivo contém os dados relativos a digitalização das isolinhas.

Tipo R : nome do arquivo de recorte: O recorte será usado pelo programa Bpf_BGf para delimitar a malha em função de uma poligonal de contorno, por exemplo, a divisa de um município. O formato dos registros deste é o mesmo do arquivo de isolinhas. Normalmente, o recorte terá a forma de uma moldura retangular com limites definidos nos registros tipo J. O programa de edição cria automaticamente o arquivo de recorte, caso não exista um definido pelo operador. A malha final terá cotas nulas fora da poligonal de fronteira. O recorte é transferido para a malha final de saída durante a edição automática. Na Figura 5.10 mostra o conteúdo do arquivo de recorte RCVRD.TXT. A descrição dos registros é a mesma apresentada anteriormente para os arquivos TXT.

```
<< CartoCad - Versao 2.00 - Arquivo: RCVRD.TXT
<< Data: 05/02/92 - Hora: 11:59 - Bytes:
D102301Recorte
P1023Recorte
1 673600.008169500.00 0.0001
1 677700.008169500.00 0.0001
1 677700.008173700.00 0.0001
1 673600.008173700.00 0.0001
1 673600.008169500.00 0.0001
```

Figura 5.10: Arquivo descrevendo a poligonal de recorte de um DTM.

Tipo J : devem aparecer dois registros deste tipo. O primeiro deles define o canto inferior esquerdo e o segundo o canto superior direito de uma janela, limitando a região da malha a ser gerada.

Tipo T: estabelece a tolerância, em metros, para a malha de

saída. Esta tolerância define-se em função da precisão dos dados de entrada e das exigências a serem atendidas pela malha do DTM.

Tipo D: determina a quantidade de perfis paralelos ao eixo X e Y respectivamente. Este registro deve anteceder aos tipos X e Y. Será usado para dimensionar a memória.

Tipo F: estabelece a função interpoladora a ser empregada na interpolação do DTM. 0: Linear, 1: "Spline" natural cúbico, 2: "B-spline", 3: "Spline" cúbico de Hermite.

Tipo E: fixa o espaçamento, em metros, para a malha.

Tipo X: valores para X inicial e X final a serem usados nos perfis paralelos ao eixo Y e o espaçamento entre os perfis. A informação sobre o espaçamento entre os perfis é redundante e visa a possibilidade futura de se construírem malhas com elementos retangulares.

Tipo Y: valores para Y inicial e Y final a serem usados nos perfis paralelos ao eixo X e o espaçamento entre os perfis.

Tipo I: determina os níveis das entidades a serem extraídas do arquivo de isolinhas. Por exemplo: o nível 7 poderá conter pontos cotados; o 8 curvas de nível intermediárias; 80, 90, 100, e 110 as curvas de nível mestras e no 777, perfis de descontinuidades ("break lines").

Obs: Ocorrendo a edição do arquivo .IPE, automaticamente serão excluídos do diretório todos os arquivos produzidos pelo sistema cujo nome seja o mesmo do .IPE variando apenas a extensão.

5.4- PASSOS PARA A PRODUÇÃO DE UMA MALHA :

São necessários os seguintes passos para se obter uma malha:

1- A existência de um arquivo .TXT com as isolinhas e possivelmente de um arquivo de recorte de fronteira .TXT. O recorte será usado pelo programa Bpf_BGf para delimitar a malha em função de uma poligonal de contorno, por exemplo, a divisa de um município.

2- A criação de um projeto .IPE pela opção Edição de

DTM_MENU ou diretamente pelo programa IPE_EDIT.

3- O perfilamento das isolinhas por TXT_BPI_d, gerando os perfis irregulares.

4- A interpolação dos perfis regulares por BPI_BPf.

5- A reorganização dos perfis para a forma de malha por BPf_BGf.

6- A geração da malha final pela combinação das malhas na direção X e Y por BGf_EDIT.

5.5- FORMATO DOS PRINCIPAIS ARQUIVOS DE SAÍDA:

5.5.1- ARQUIVOS SEQUENCIAIS COM MALHA .SX# .SY#:

Os arquivos .SX# .SY# são o resultado da aplicação do programa BGf_SGf conforme apresentado no item 5.2.1.5. A Figura 5.11 ilustra o formato de um arquivo seqüencial contendo uma malha de 43 linhas (perfis paralelos ao eixo X) por 42 colunas (pontos por perfil). Na primeira linha aparecem as dimensões da malha, a origem (canto noroeste) e o espaçamento. A seguir, vêm os pontos componentes da malha dispostos por linha organizadas de cima para baixo, tal como em uma matriz expressa em forma lexográfica. Os dados devem ser separados por pelo menos um espaço em branco e são permitidas uma ou mais linhas em branco, separando cada conjunto de dados. Cada linha termina com o par CR LF (retorno de carro e avanço de linha) que em codificação ASCII correspondem a 13 e 10 (decimal) respectivamente.

43	42	673600.000	8173700.000	100.000	
1022.658	1025.146	1025.779	1025.824	1025.258	1022.538
1018.913	1016.140	1013.524	1011.141	1009.091	1007.491
1006.124	1004.729	1003.045	1000.809	994.350	989.260
990.056	991.024	990.160	969.788	963.332	956.543
941.505	931.167	922.144	915.075	910.075	908.075
907.300	907.172	907.159	907.158	907.222	907.406
907.762	908.343	909.201	910.573	914.588	919.525
1018.318	1022.152	1024.600	1023.442	1020.696	1018.589
1016.563	1014.560	1012.610	1010.745	1008.987	1007.305
1005.682	1004.102	1002.551	1001.014	999.889	997.666
995.479	992.687	987.483	974.258	967.341	964.446
960.075	938.523	924.579	918.022	914.257	911.406
909.142	907.442	906.162	905.102	904.611	905.479
906.268	907.238	908.816	912.103	918.708	923.783

Figura 5.11: Fragmento de um arquivo seqüencial com malha do DTM.

```
<< CartoCad - Versao 2.00 - Arquivo: teste3.BPI
<< Data: 18/07/92 - Hora: 11:59 - Bytes: 000000
D102302Erro Perfil
S10230060.00
1 677247.408172700.00 920.0001
S10230060.00
1 678425.518172700.00 980.0001
S10230060.00
1 677400.008172709.01 930.0001
```

Figura 5.14: Exemplo de um arquivo ERROSBPI.TXT indicando pelo uso de símbolos os erros nos perfis.

5.5.4- ARQUIVOS .ERR;

São produzidos pelo sistema dois arquivos com extensão ERR. O primeiro tem o mesmo nome do projeto conforme apresentado no item 5.2.1.1 e o segundo recebe o nome do arquivo de isolinhas utilizado para a geração do DTM.

O arquivo, apresentado na Figura 5.15, é resultante do procedimento descrito no capítulo 4, item 4.6 e implementado pelo programa xBPC_BGf. As informações contidas neste arquivo seguem o formato TXT, já apresentado, acrescido de mais duas informações referentes ao valor calculado para o ponto (calc:) e da diferença dZ entre o valor medido menos o calculado.

```
<< CartoCad - Versao 2.00 - Arquivo: teste3.BPC x teste3.BX4
<< Data: 06/02/92 - Hora: 11:59 - Bytes: 000000
D102302Erro Grid
S10230060.00
1 673827.348173634.661025.0001 calc:1024.81 dZ: 0.19
S10230060.00
1 673713.358173338.391022.0001 calc:1021.70 dZ: 0.30
```

Figura 5.15: Arquivo Teste3.ERR, resultado da interpolação de pontos de coordenadas conhecidas a partir da malha do DTM.

O arquivo, apresentado na Figura 5.16, é produzido pelo programa xTXT_BGF, da maneira descrita no capítulo 4, item 4.7. As informações contidas neste arquivo são:

a) O nome do arquivo de isolinhas, da malha do DTM e a tolerância utilizada na classificação dos desvios entre o valor calculado e medido em cada ponto testado.

b) A relação dos níveis que foram testados.

- c) A quantidade de pontos totais do arquivo, o número de pontos que se encontra dentro da região coberta pelo DTM, o valor da média dos desvios, considerados com sinal algébrico, o desvio padrão da média.
- d) O valor médio dos desvios considerados em módulo.
- e) A quantidade e o percentual de pontos que satisfazem a tolerância estabelecida.
- f) As quantidades dos pontos separados em classes, em função dos desvios, como apresentado no capítulo 4, item 4.5.
- g) Indica-se também as coordenadas e o valor da maior discrepância observada, em metros.

```

----- Consistindo cvrd.TXT x teste3.BX4 ---- 2.50 -----
Niveis:    7    8   80   90  100  110  777
Pontos 3220  Dentro: 1894  Media: 0.02 +- 1.72 (m)
Vabsmedio 1.08
Toleraveis 1672  88.28 %
nA:   1672    nB:   179    nC:   35    nZ:    8
Max:   676055.17  8173519.04  10.75

```

Figura 5.16: Arquivo resultante da interpolação reversa.

TESTES E RESULTADOS

6.1 - OS TESTES REALIZADOS.

O programa SORA, que acompanha o ortoprojetor WILD_OR-1, gera DTMs em forma de malha. Os DTMs gerados pelo SORA, foram comparados com os produzidos neste trabalho de forma a avaliar a potencialidade de uso profissional da técnica implementada nesta investigação. As fontes de dados para a produção dos DTMs originaram-se de restituições digitais.

Os testes realizados objetivaram avaliar a técnica proposta neste trabalho quanto a capacidade de detectar deficiência de amostragem e mau comportamento dos interpoladores implementados, localizar erros na amostragem dos dados, bem como medir o desempenho dos interpoladores sob o ponto de vista da qualidade e do esforço computacional.

6.2 - CARACTERÍSTICAS DOS DADOS EMPREGADOS NOS TESTES.

Utilizou-se para os testes dados reais, oriundos de restituição digital, em escala 1:10000, a partir de fotografias aéreas 1:32500, compiladas em equipamentos WILD-A8 providos de codificadores ("encoder") e conectados a microcomputadores IBM_PC. Com estes dados produziram-se ortofotocartas em escala 1:10000 no ortoprojetor WILD_OR-1. As fotografias foram tomadas com uma câmara WILD, com distância focal calibrada de 152,48mm, a uma altura de aproximadamente 5000m.

6.2.1 - ESPECIFICAÇÕES PARA O DTM.

A precisão esperada em cota está compreendida entre 0,15 e 0,50 partes por mil da altura de voo conforme STEFANOVIC [21]. No presente caso isto compreende um intervalo entre 0,75m e 2,50m. Com estes parâmetros, definiu-se as especificações para o DTM, esperando-se um deslocamento geométrico inferior a 0,2mm na ortofotocarta. Na escala 1:10000, 0,2mm corresponde a 2m no terreno ou 65 μ m na foto em escala 1:32500. Para um ponto situado o mais distante do centro fiducial tem-se (Tabela 6.1) os

deslocamentos radiais em micrometros para a busca da imagem na foto 1:32500, resultantes de um erro em altura ∂Z em metros, considerando-se a foto vertical:

∂Z	deslocamento da imagem ∂r
1,0m	26 μm
2,0m	53 μm
2,5m	66 μm
3,0m	80 μm
4,0m	106 μm
5,0m	133 μm
10,0m	267 μm

$$\partial r = \frac{f \Delta r}{H^2} \partial Z$$

∂r = deslocamento radial em μm

f = distância focal em μm

H = altura de vôo em metros.

Δr = distância ao ponto nadir.

Tabela 6.1 Deslocamento da imagem x erro no DTM.

Adotou-se a expectativa de erros inferiores a 2,50m para os pontos da malha do DTM.

6.2.2 - AS ÁREAS TESTE.

Para os testes de qualidade do DTM foram empregadas cinco áreas (Figuras 6.1 a 6.5), de aproximadamente 6000m x 6000m, com características de relevo variáveis, restituídas com curvas de nível equidistantes de 10m e com reforço de amostragem para o DTM pela medição de pontos cotados e de perfis de rios e estradas. Estas áreas deram origem às malhas calculadas pelo programa SORA da WILD e por este trabalho.

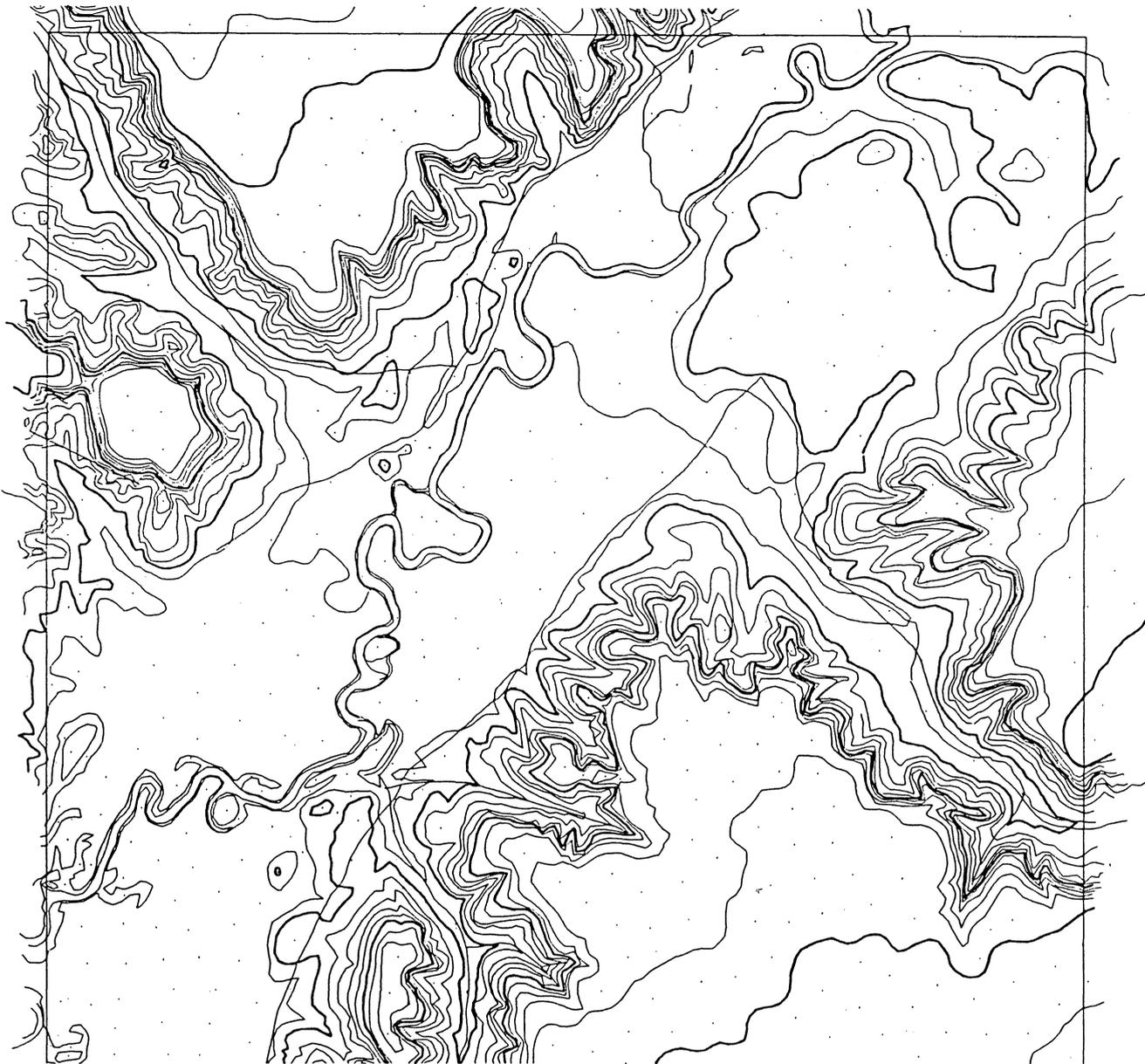


Figura 6.1 Restituição digital da área 8033.

Escala da figura 1:40000

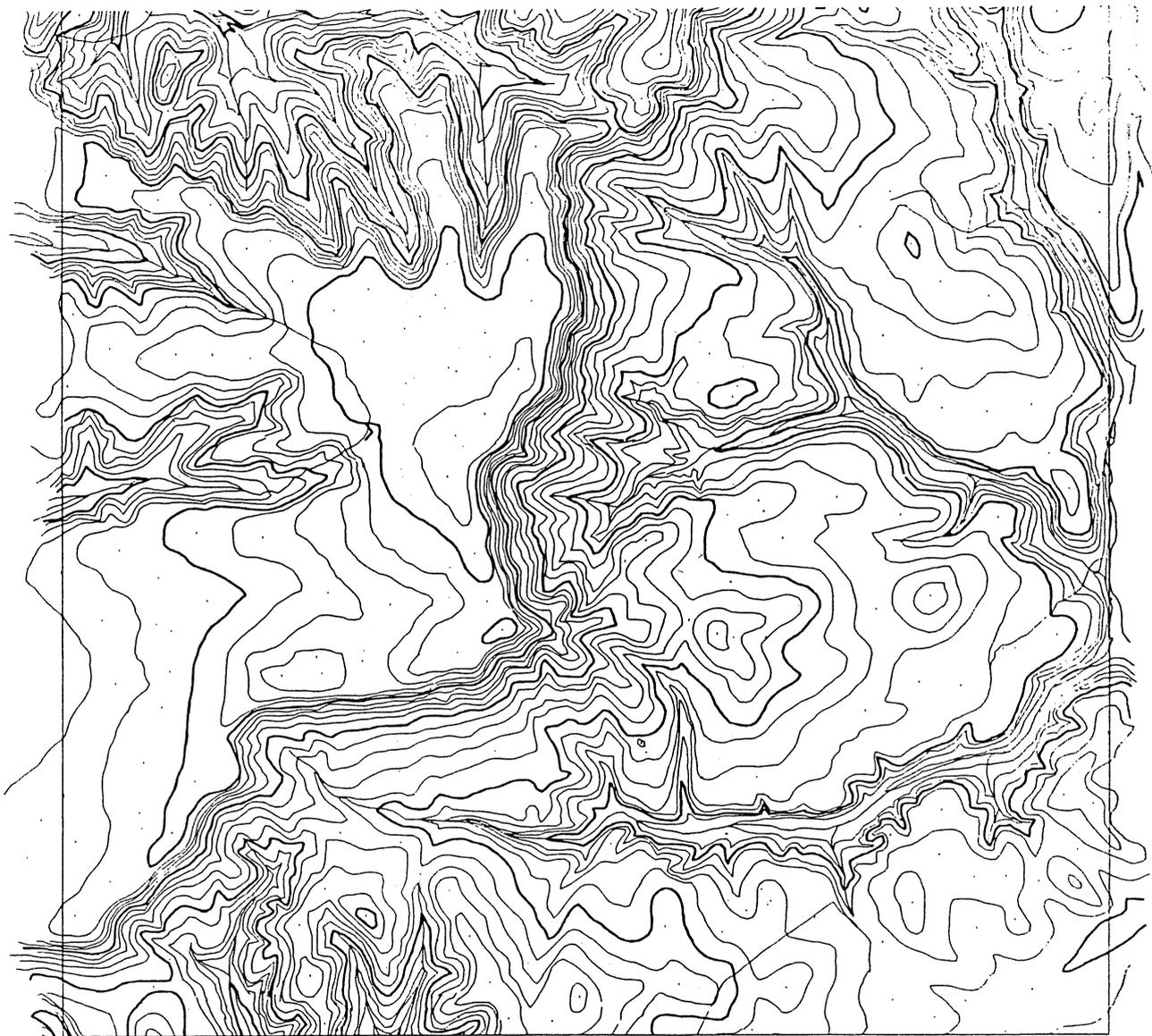


Figura 6.2 Restituição digital da área 0783.
Escala da figura 1:40000

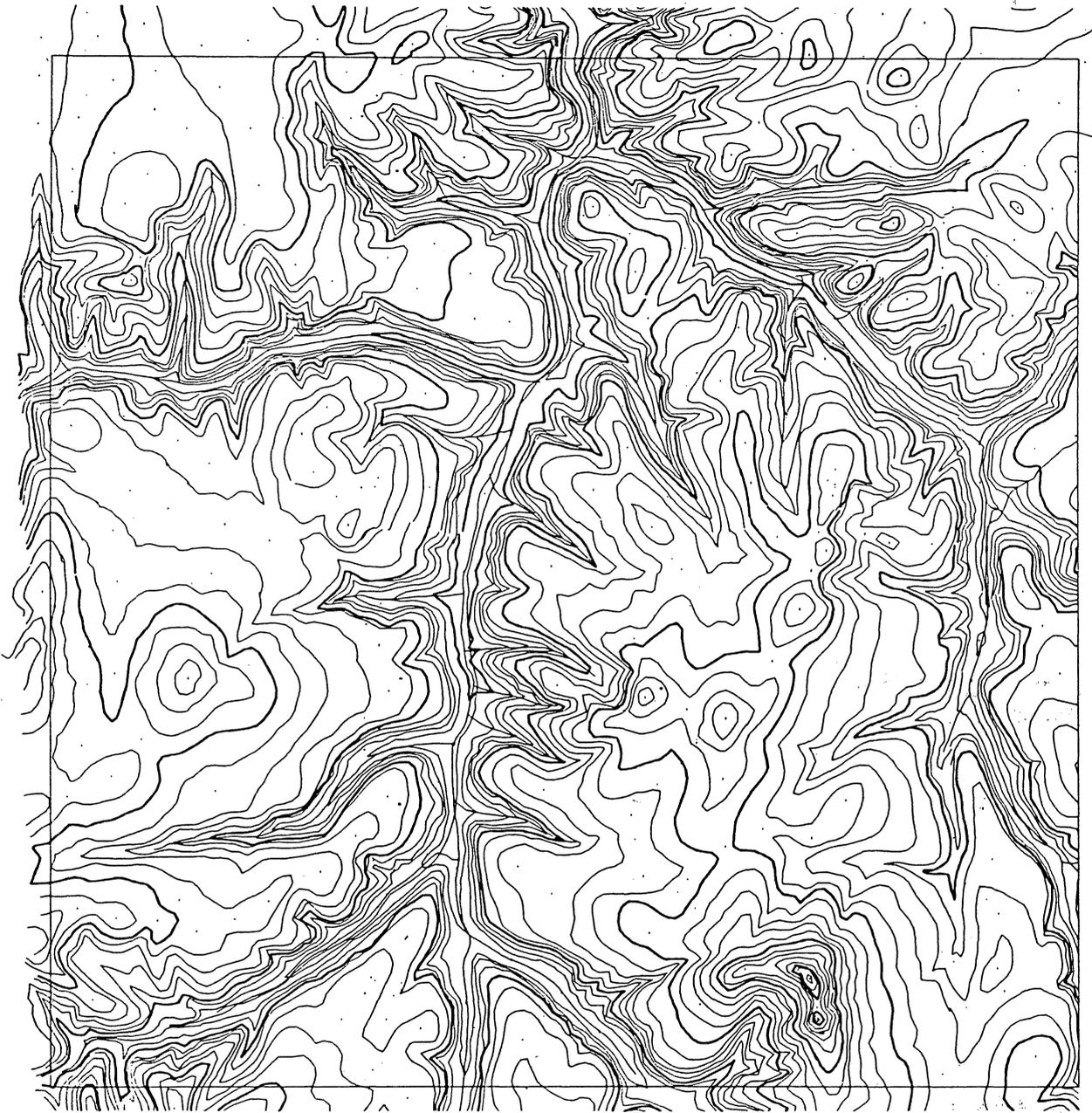


Figura 6.3 Restituição digital da área 0784.
Escala da figura 1:40000

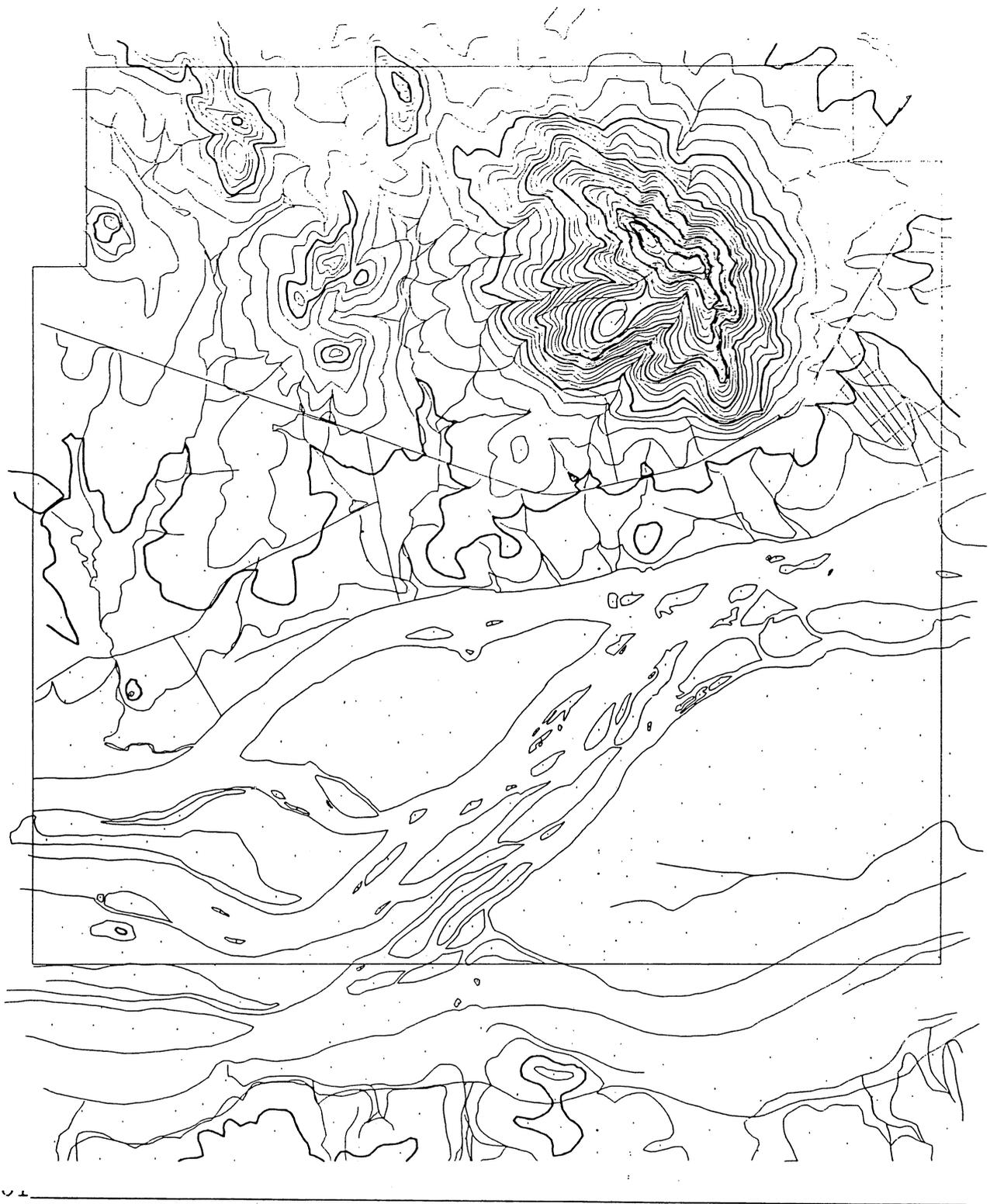


Figura 6.4 Restituição digital da área 27.
Escala da figura 1:40000

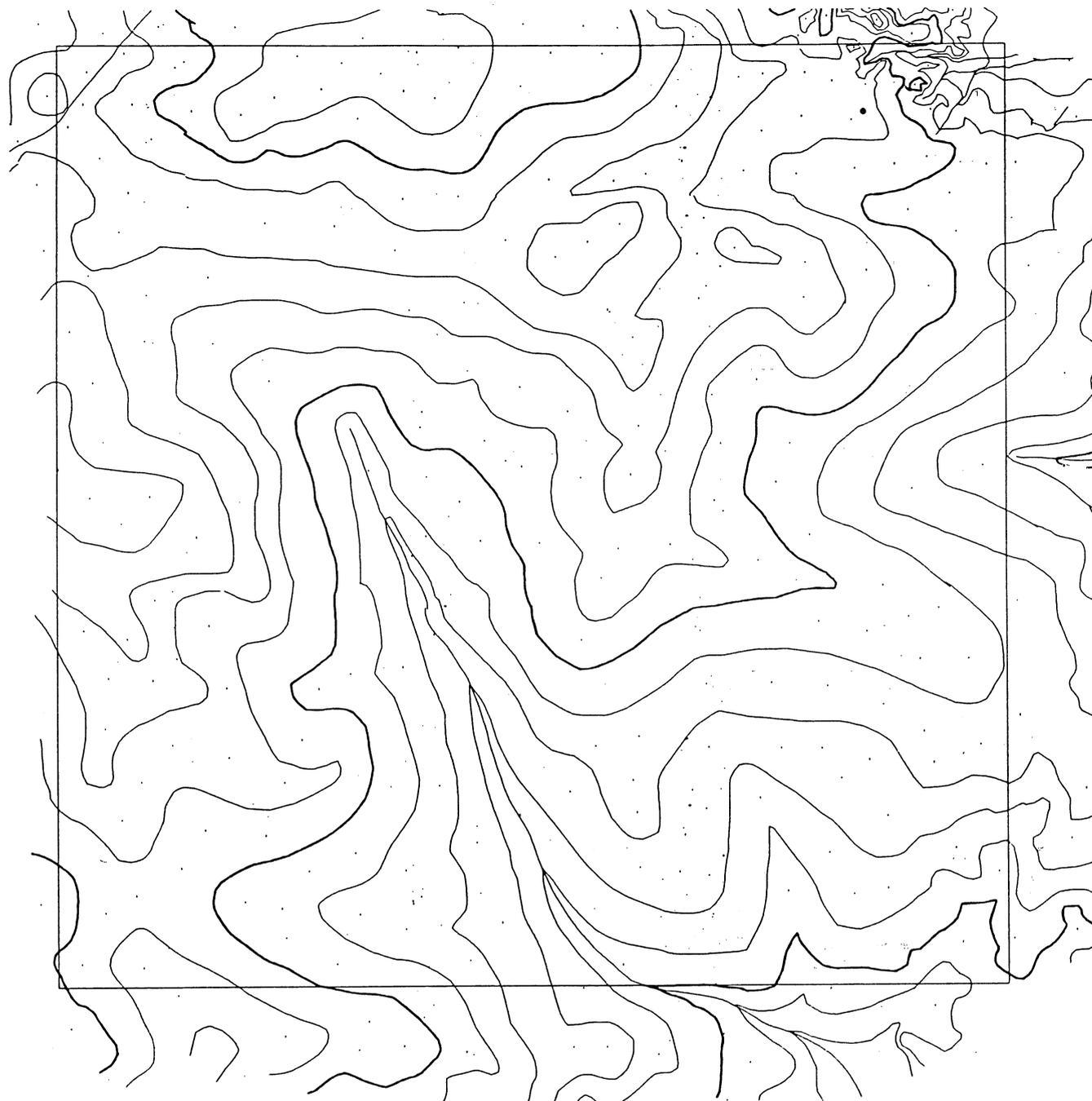


Figura 6.5 Restituição digital da área 9146.
Escala da figura 1:40000

6.3 - CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE COMPUTAÇÃO.

Para os testes empregou-se três equipamentos da linha IBM-PC cujas características se encontram na Tabela 6.3 . As três últimas

linhas da tabela representam o desempenho relativo ao IBM PC-XT de 4,77 MHz (4,77 Mega Hertz).

Equipamentos:	PC-XT	PC-AT	PC-386
CPU	NEC-V20	80286	80386
Frequência	10 MHz	8 MHz	25 MHz
Coprocessador	NÃO	80287	80387
Winchester HD	32 MB	80 MB	120 MB
Acesso HD	60 ms	22 ms	16 ms
CPU x XT 4,77 MHz	2,6	4,4	14,8
HD x XT 4,77 MHz	1,7	1,5	4,8
Geral x XT 4,77 MHz	2,2	3,3	11,4

Tabela 6.3 Equipamentos de computação empregados nos testes. ms = milsegundos. MB = Mega "bytes". HD = "hard drive".

6.4 - OBTENÇÃO DAS MALHAS.

6.4.1 - MALHAS OBTIDAS PELO PROGRAMA SORA.

O programa SORA, considerando os dados de entrada como uma nuvem de pontos cotados, gera DTMs em forma de malha, empregando o método das superfícies móveis, descrito no capítulo 2 item 2.3.2. Na Tabela 6.2 informa-se os nomes das malhas geradas pelo SORA, as dimensões e a diferença de nível máxima existente nas áreas teste.

Nome	Espaçamento	Dimensão	Dif. Nível
G8033	80 m	78 x 78	134,25 m
G0783	50 m	124 x 123	253,63 m
G0784	50 m	124 x 123	232,09 m
G27	50 m	125 x 125	330,41 m
G9146	80 m	78 x 78	126,64 m

Tabela 6.2: Malhas geradas pelo programa SORA.

6.4.2 - MALHAS OBTIDAS NESTA INVESTIGAÇÃO.

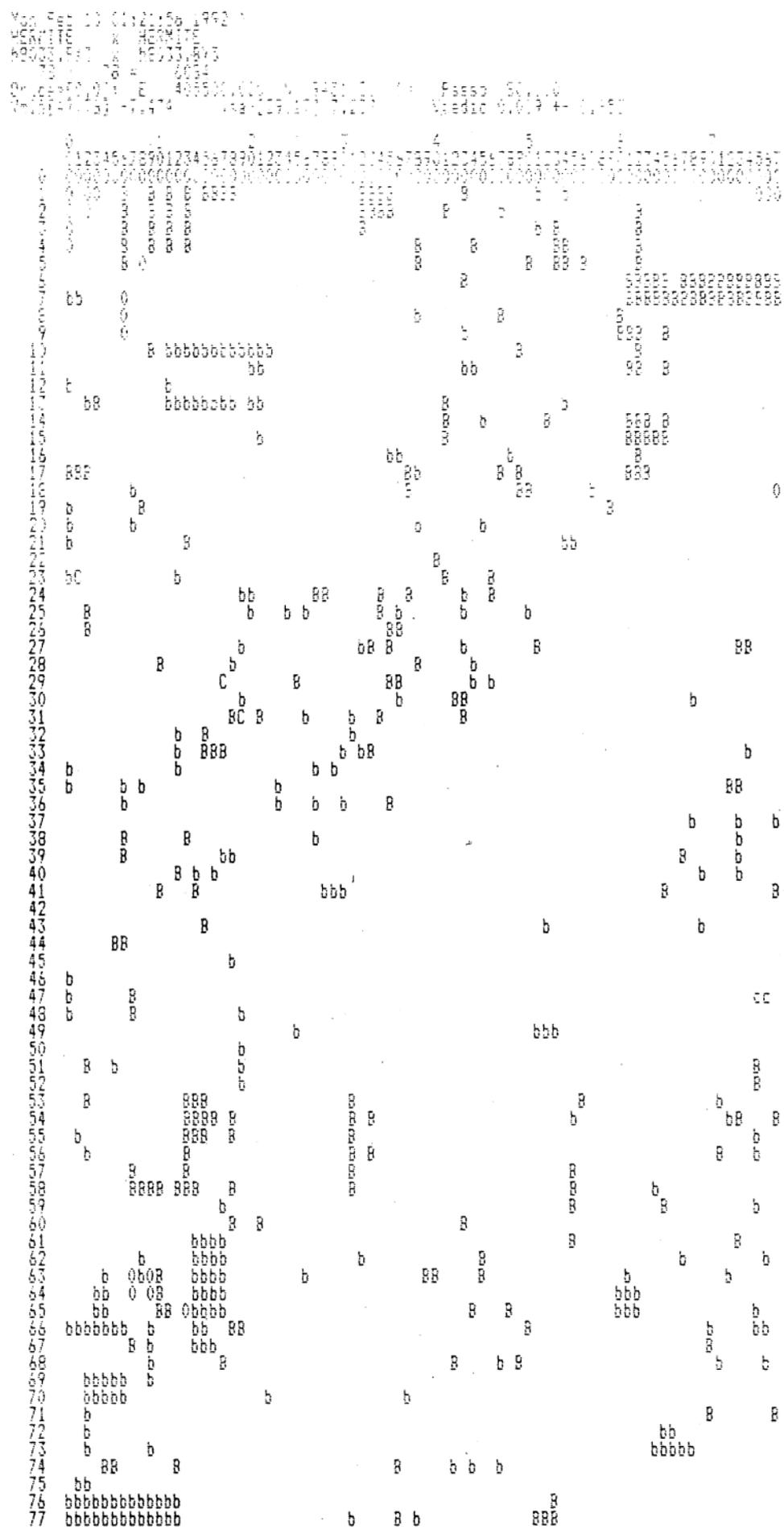
Utilizou-se os mesmos dados de restituição digital, que alimentaram o programa SORA, nos procedimentos descritos no capítulo 5, implementados neste trabalho. Foram produzidos, para cada área, conjuntos de três malhas denominadas BX#, BY# e BX4. As duas primeiras obtidas do perfilamento das isolinhas na direção X, Y e a última, a chamada malha final, resultante da combinação das duas primeiras, durante o processo de edição, para e eliminação dos efeitos de oscilação dos interpoladores. Para cada área teste foram computadas malhas com os diferentes interpoladores apresentados no capítulo 3.

6.5 - RESULTADOS.

As tabelas entre Tabela 6.7.a e Tabela 6.11.c foram extraídas a partir dos RCPP (relatórios de comparação ponto a ponto entre duas malhas) cuja descrição aparece no capítulo 4 item 4.5. Nas tabelas adotar-se-á as simbologias apresentadas na página ix :

6.5.1 - OS RELATÓRIOS RCPP.

Para todos os testes foram criados relatórios RCPP, descritos no capítulo 4 item 4.5 cujo objetivo é a detecção de deficiência de amostragem e a indicação de mau comportamento do interpolador. A título de exemplo mostra-se o RCPP da área teste 8033, em forma de relatório, Tabela 6.4, e em forma visual, Figuras 6.6.a e 6.6.b, para a área teste 27.



(	-5.000,	-7.500]	c	2	0.03 %
(	-2.500,	-5.000]	b	253	4.21 %
(	0.000,	-2.500]	a	2722	45.32 %
(	0.000,	0.000]	0	20	0.33 %
(	0.000,	2.500]	A	2756	45.89 %
(	2.500,	5.000]	B	250	4.16 %
(	5.000,	7.500]	C	3	0.05 %
(	-2.500,	2.500]	T	5498	91.54 %

Tabela 6.4 : RCPP da área 8033 classificando as diferenças entre as malhas obtidas do perfilamento na direção X e Y com interpolador SCH.

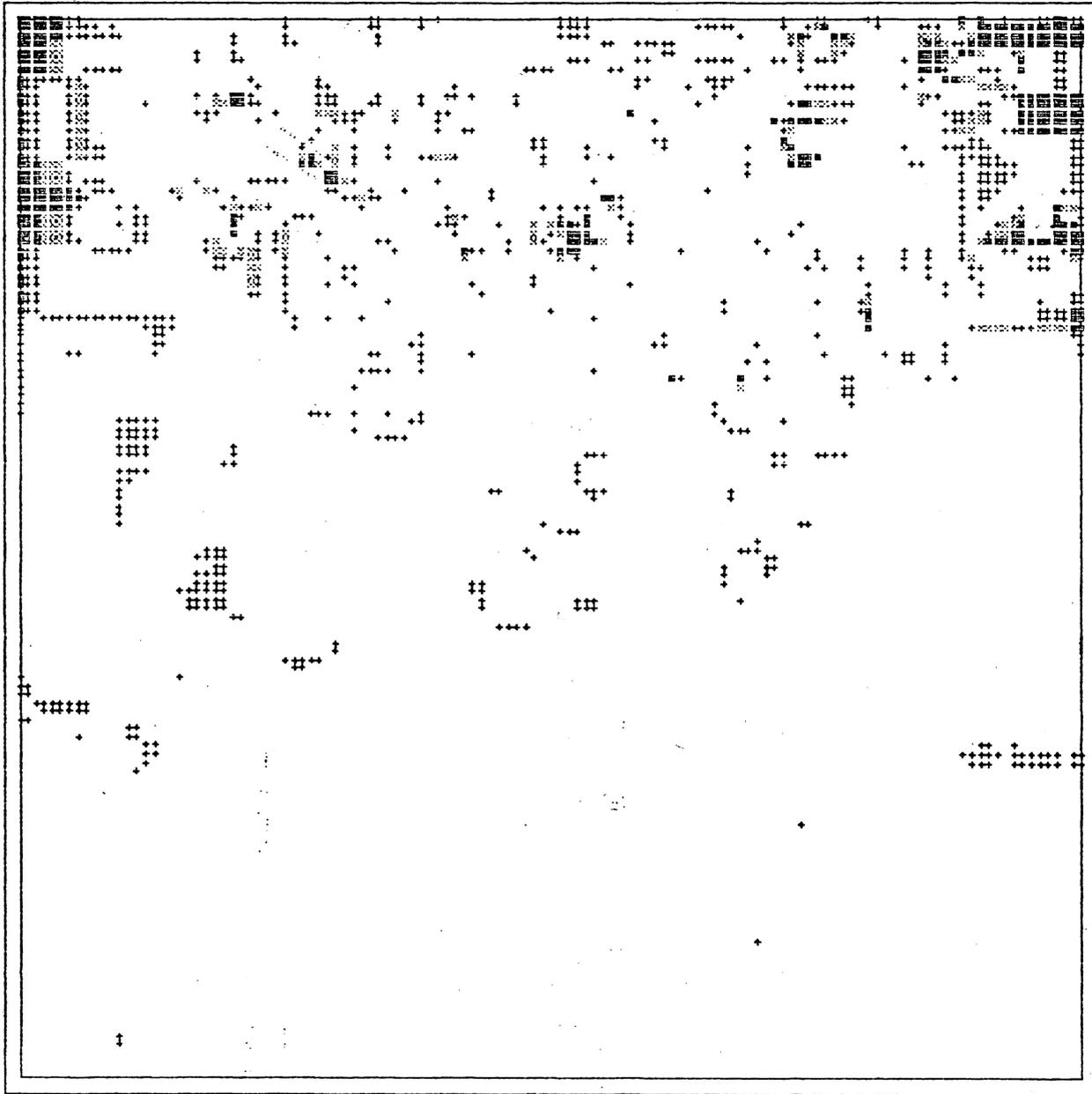


Figura 6.6.a : RCCP em forma visual para a área teste 27.

- + desvios entre 2,50m a 5,00m em módulo.
- * desvios entre 5,00m a 7,50m em módulo.
- # desvios acima de 7,50m em módulo.

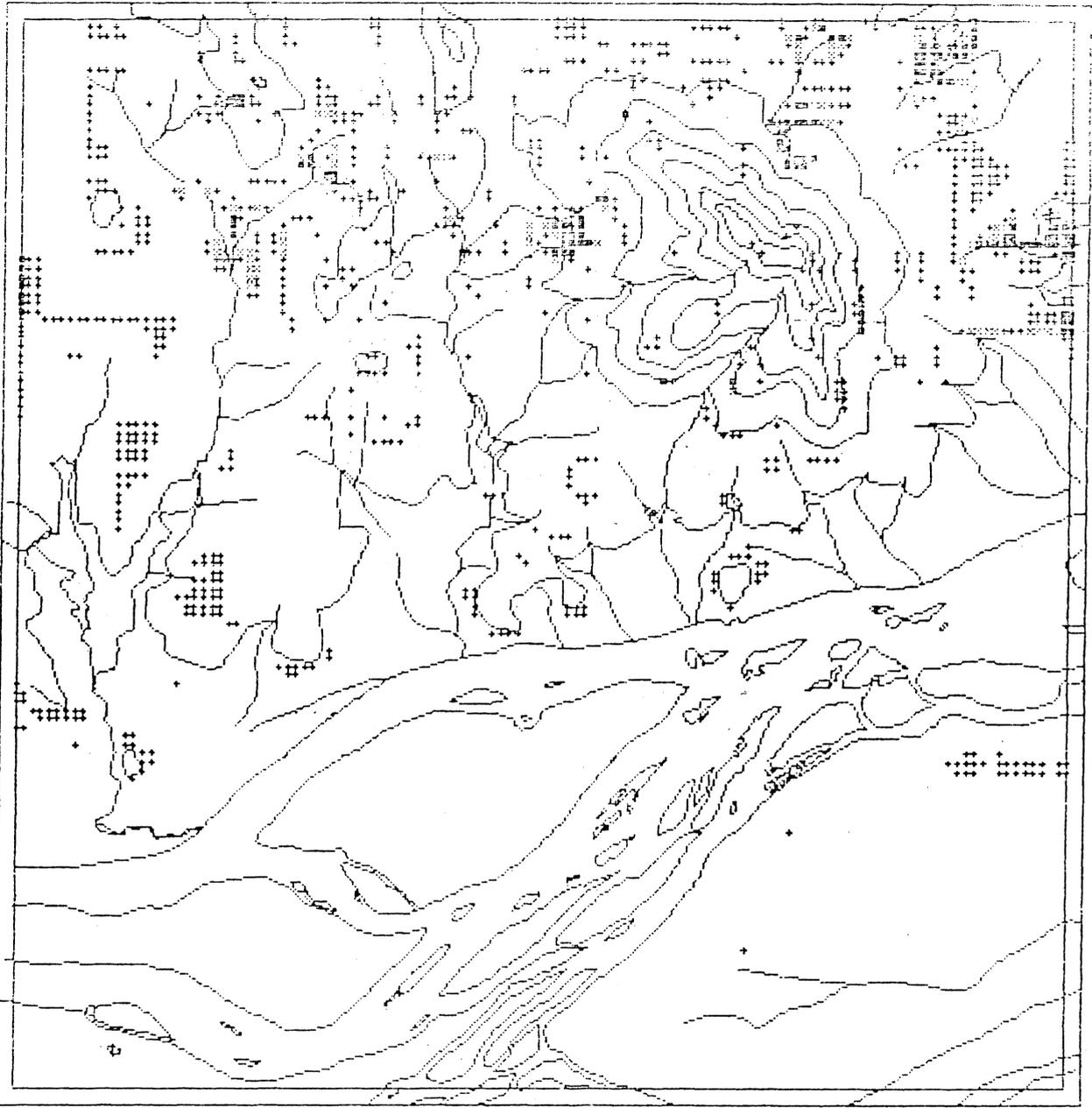


Figura 6.6.b: RCPP em forma visual para a área teste 27 sobreposto a detalhes planimétricos da restituição digital.

A Figura 6.6.a aponta as deficiências de amostragem nos dois cantos superiores da área teste 27. A sobreposição desta figura com a restituição digital, apresentada na Figura 6.4, resulta num desenho semelhante a Figura 6.6.b. O programa BGF_BGF apresentado no capítulo 5 item 5.5.2.1.5 produz estes resultados. Observe-se também a não indicação de deficiência de amostragem na região mais acidentada do terreno.

6.5.2 - TESTE DE DISCREPANCIA POR INTERPOLAÇÃO REVERSA.

Para realizar o teste serviu-se dos procedimentos descritos no capítulo 4 item 4.6. Efetuou-se o teste para as malhas produzidas pelo SORA e para as malhas correspondentes produzidas por esta investigação.

Os resultados do teste de discrepância por interpolação reversa (TDIR), descrito no capítulo 4 item 4.7, são apresentados no grupo de Tabelas 6.5, e visualizados no grupo de figuras 6.7. Nas Figuras 6.7.a e 6.7.b tem-se o resultado visual, realçadas as regiões cujos pontos escaparam as especificações do DTM. Nas tabelas entre Tabela 6.5.a e Tabela 6.5.e constam:

- a) O nome da área teste
- b) O interpolador empregado.
- c) O nome da malha
- d) A resolução ou espaçamento em metros.
- e) O número total de pontos da restituição digital.
- f) O numero de pontos que puderam ser interpolados, indicados pela quantidade "Dentro" (Dentro da região util abrangida pela malha).
- g) A média dos desvios considerando sinal algébrico.
- h) O desvio padrão σ .
- i) A média dos desvios em valor absoluto.
- j) O total de pontos dentro da malha que atingiram a especificação do DTM (2,5m).
- l) O percentual dos pontos da classe O-A.

Para os cálculos utilizou-se:

v = desvio : Cota calculada menos a medida na restituição digital.

$$\text{Média} = \frac{\sum v}{n}$$

n = número de pontos Dentro.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum vv}{(n - 1)}}$$

σ = desvio padrão.

$$|\text{Média}| = \frac{\sum |v|}{n}$$

O-A = total de pontos dentro da especificação do DTM

Área:	8033	
Interpol.	SORA	S C H
Malha	G8033	H8033.BX4
Resolução:	80 m	80 m
Pontos	15691	15691
Dentro	13579	13460
Média	0,05	0,02
σ	4,70	4,46
|Média|	3,08	2,78
O-A	7945	8515
O-A %	58,51	63,26

Tabela 6.5.a : Resultado do TDIR da área 8033.

Área:	0783	
Interpol.	SORA	S C H
Malha	G0783	H0783.BX4
Resolução:	50 m	50 m
Pontos	19451	19451
Dentro	17611	17611
Média	-0,10	-0,06
σ	2,69	2,32
|Média|	1,99	1,59
O-A	12247	13818
O-A %	69,54	78,46

Tabela 6.5.b : Resultado do TDIR da área 0783.

Área:	0784	
Interpol.	SORA	S C H
Malha	G0784	H0784.BX4
Resolução:	50 m	50 m
Pontos	20744	20744
Dentro	16814	16814
Média	0,07	0,09
σ	3,10	2,62
|Média|	2,25	1,74
O-A	11087	12786
O-A %	65,94	76,04

Tabela 6.5.c : Resultado do TDIR da área 0784.

Área:	9146	S C H
Interpol.	SORA	
Malha	G9146	H9146.BX4
Resolução:	80 m	80 m
Pontos	6036	6036
Dentro	3686	3686
Média	-0,02	0,09
σ	1,51	1,74
|Média|	0,80	0,82
O-A	3390	3345
O-A %	91,97	90,75

Tabela 6.5.d : Resultado do TDIR da área 9146.

Área:	27	S C H
Interpol.	SORA	
Malha	G27	H27.BX4
Resolução:	50 m	50 m
Pontos	16145	16145
Dentro	12801	12718
Média	0,19	0,06
σ	4,05	3,24
|Média|	2,21	1,60
O-A	9357	10375
O-A %	73,10	81,58

Tabela 6.5.e : Resultado do TDIR da área 27 para o SORA e SCH .



Figura 6.7.a : Resultado do TDIR da malha G27 (SORA). As manchas indicam as regiões que escaparam a tolerância do DTM.

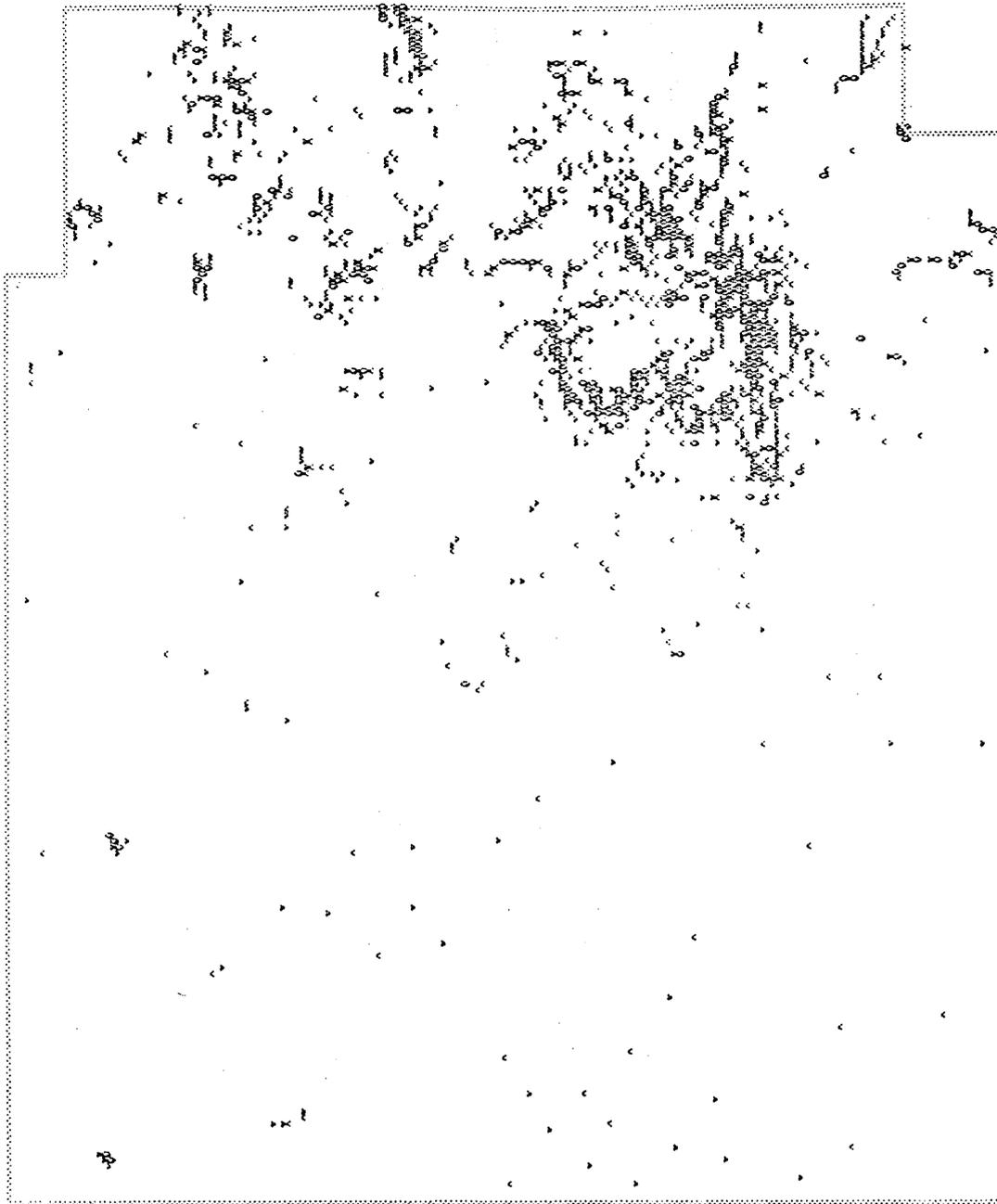


Figura 6.7.b : Resultado do TDIR da malha H27.BX4. As manchas indicam as regiões que escaparam a tolerância do DTM.

Para a área 27 foram feitos cinco testes TDIR adicionais. As malhas H27.BX3 e H27.BY3, da Tabela 6.5.f, apresentaram resultados visuais semelhantes aos da Figura 6.7.b. e foram criadas a partir das malhas obtidas do perfilamento das isolinhas na direção X e Y respectivamente. Em virtude do RCPP da Figura 6.6.b não apontar deficiência de amostragem ou indicação de mau comportamento do interpolador, nas áreas indicadas pelo TDIR,

decidiu-se trabalhar mais detalhadamente na região problema. Fez-se um recorte da área, apresentado na Figura 6.7.c e se gerou malhas com resoluções de 50m, 25m e 15m . Os resultados se encontram na Tabela 6.5.g e nas Figuras 6.7.d, 6.7.e e Figura 6.7.f que mostram o efeito obtido com a redução do espaçamento (resolução) da malha DTM.

Área:	27	
Interpol.	S C H	S C H
Malha	H27.BX3	H27.BY3
Resolução:	50 m	50 m
Pontos	16145	16145
Dentro	12733	12718
Média	0,29	0,18
σ	3,63	3,38
|Média|	1,78	1,74
O-A	10041	9976
O-A %	78,86	78,44

Tabela 6.5.f : Resultado do TDIR da área 27

Nota-se na Tabela 6.5.e um aumento no percentual de pontos que atingem as especificações do DTM em relação aos resultados apresentados na Tabela 6.5.f, aumento este proveniente da escolha dos pontos mais confiáveis, conforme apresentado no capítulo 4, item 4.4.

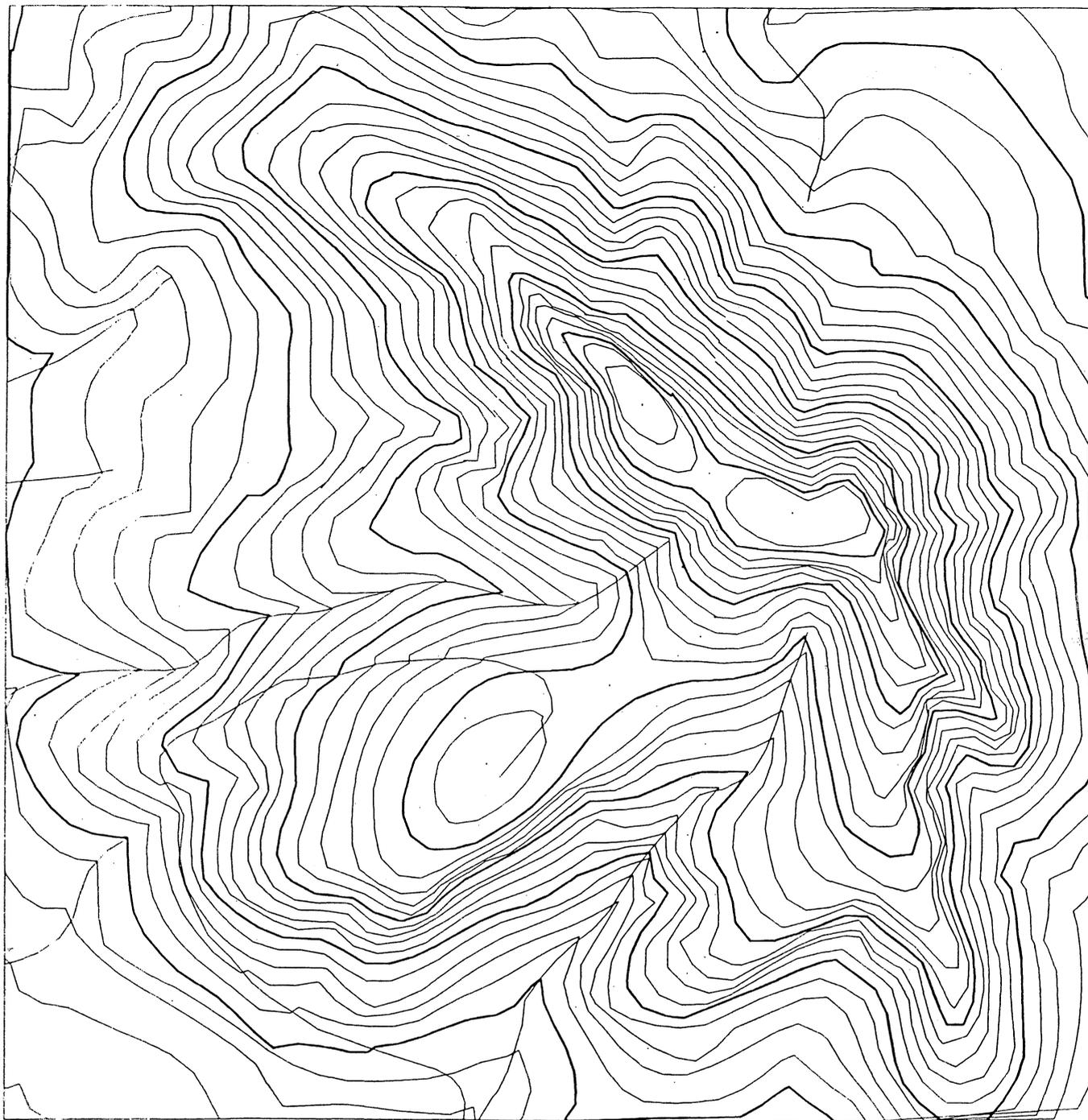


Figura 6.7.c: Ampliação da região que apresentou maiores discrepâncias no teste TDIR para a área 27.

Área:	27a	27a	27a
Interpol.	S C H	S C H	S C H
Malha	H27a. BX4	H27b. BX4	H27c. BX4
Resolução:	50 m	25 m	15 m
Pontos	4439	4439	4439
Dentro	4202	4150	4111
Média	0,14	0,07	0,07
σ	3,60	2,21	1,55
|Média|	2,36	1,32	0,87
O-A	2862	3540	3799
O-A %	68,11	85,30	92,41

Tabela 6.5.g : Resultado do TDIR da ampliação da área 27 com diferentes espaçamentos (resoluções) da malha DTM.

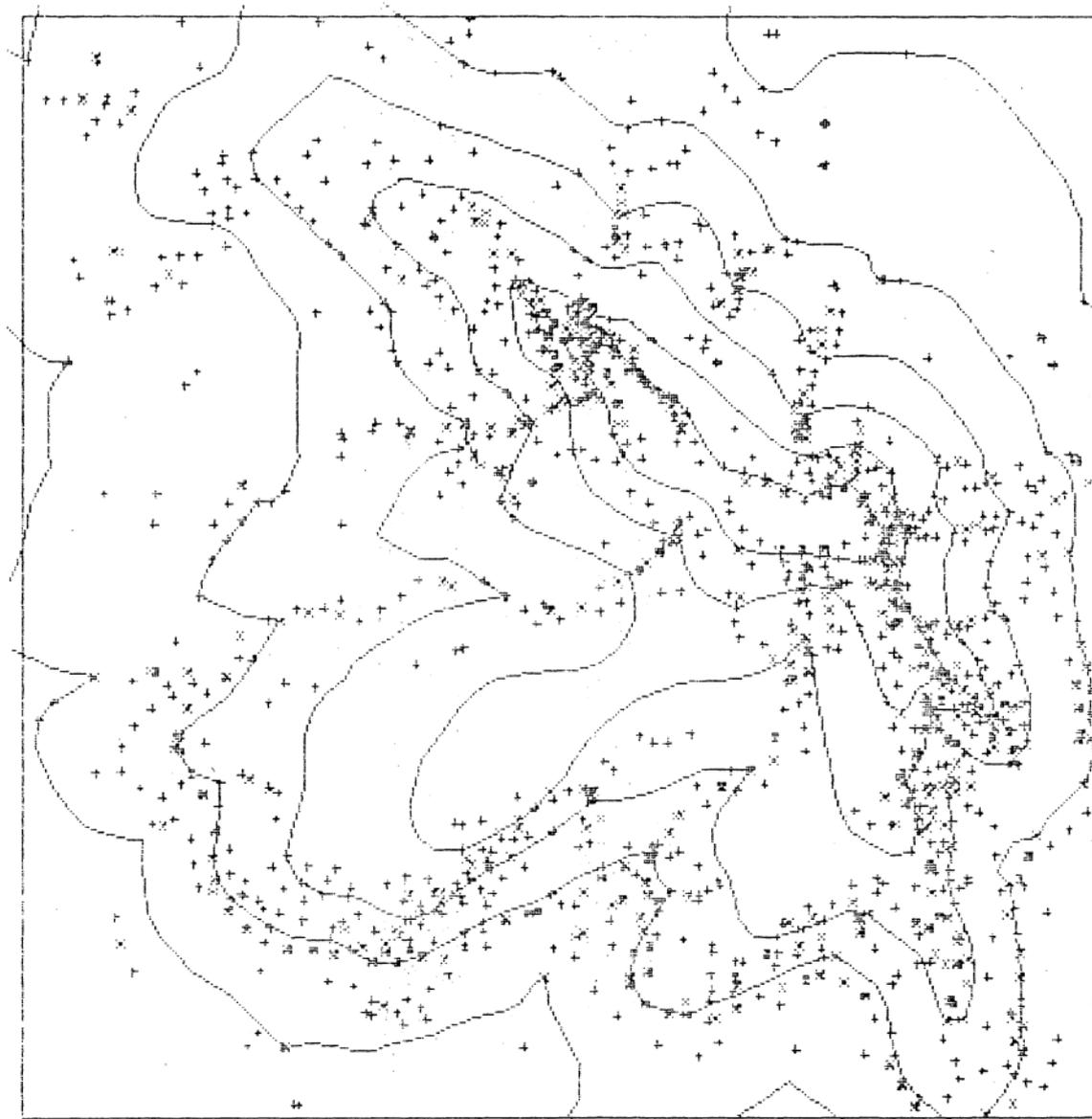


Figura 6.7.d: Resultado do TDIR para a malha de 50m, H27a.BX4.

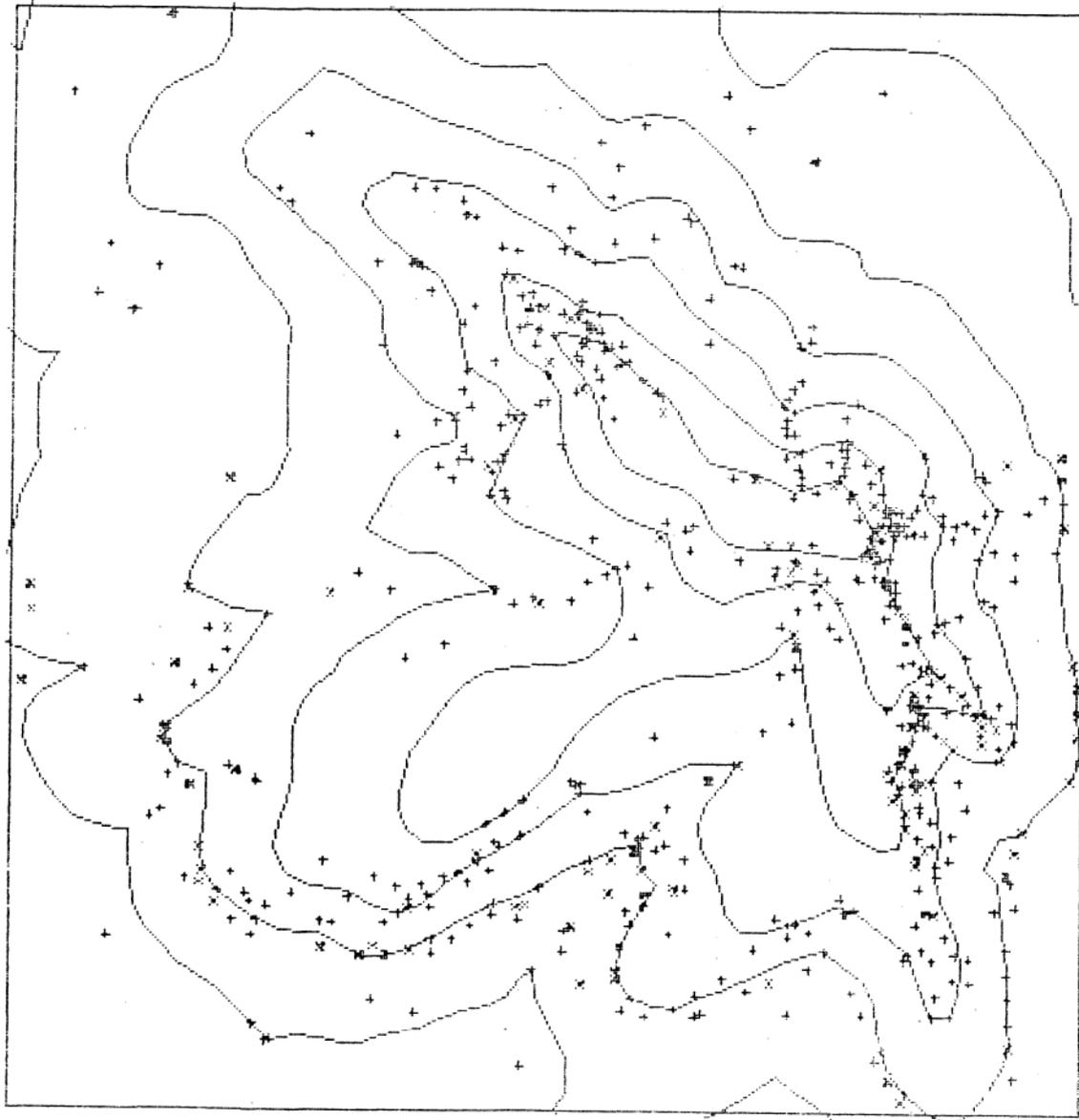


Figura 6.7.e: Resultado do TDIR para a malha de 25m, H27b.BX4.

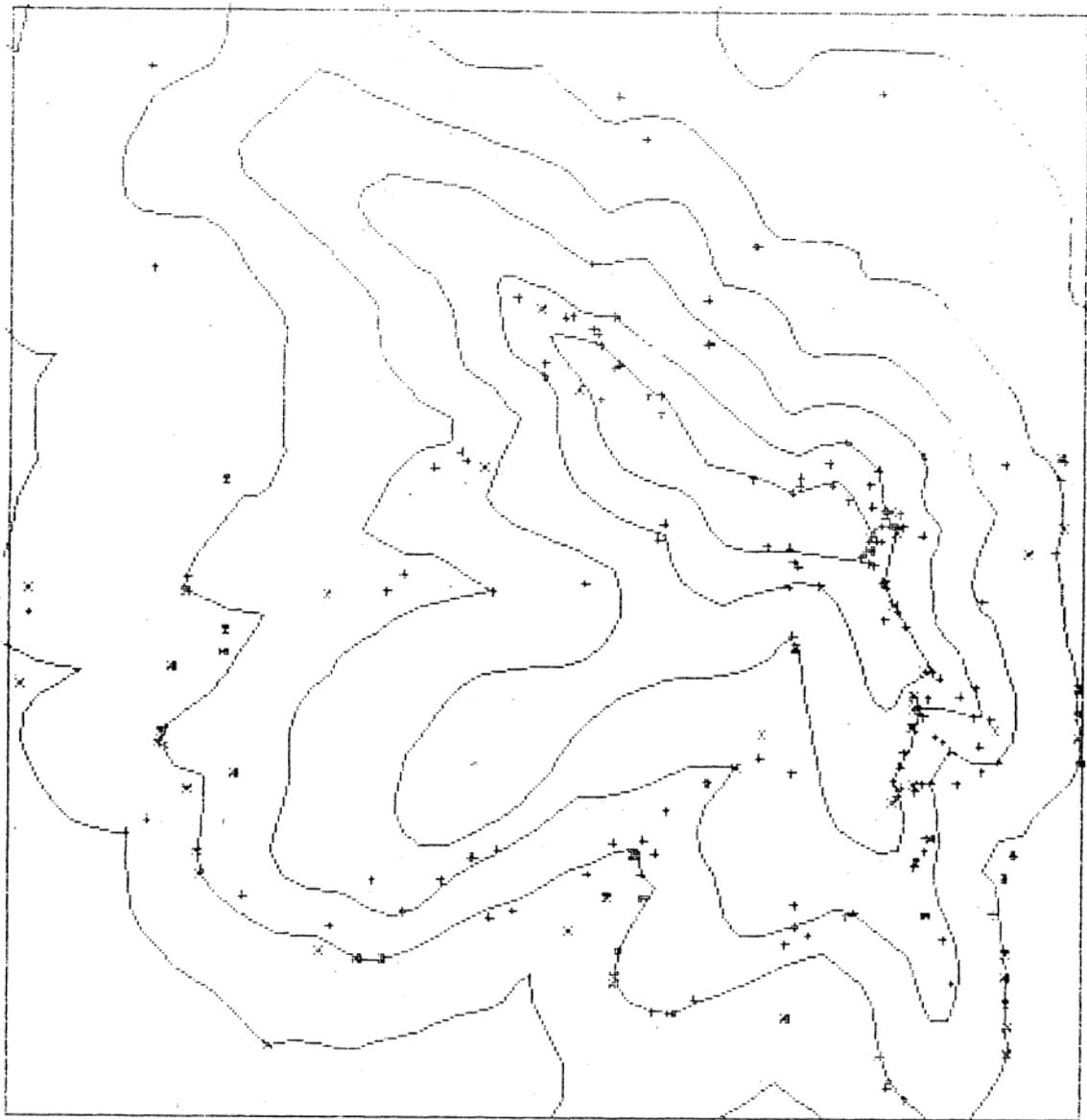


Figura 6.7.f: Resultado do TDIR para a malha de 15m, H27c.BX4.

Os resultados do TDIR apresentados na Tabela 6.5.g indicam um aumento gradual dos pontos que satisfazem as especificações do DTM a medida em que se diminuiu o espaçamento entre os pontos da malha. Quanto mais fechada a malha, melhor ela representará o terreno.

As Figuras 6.7.d a 6.7.f apresentaram uma certa tendenciosidade que se aproxima da forma das curvas de nível. Esta tendenciosidade pode ser notada mais fortemente na Figura 6.7.f. Os procedimentos de detecção de erro, apresentados no capítulo 4,

item 4.6 e capítulo 5 item 5.2.1.2 , implementados pelos programas BPI_OK e TXT_OK descritos no capítulo 5, itens 5.2.1.3 e 5.2.1.2, indicaram a presença de uma isolinha restituída com o isovalor errado nesta posição. Os erros encontrados nos dados de entrada não foram corrigidos para que se trabalhasse nas mesmas condições que o programa SORA.

6.5.3 - TESTE COM INTERPOLAÇÃO LINEAR.

Para a área 0784 efetuou-se também o cálculo da malha por interpolação linear. O resumo dos RCPP aparece nas Tabelas 6.6.a e 6.6.b. No RCPP parcial da Tabela 6.6.b , comparou-se com a média das duas malhas e não contra a diferença entre os valores da malha G0784 produzida pelo SORA menos a malha Fenda5L.BX4 resultante deste trabalho; com isto, é como se estivesse aplicando uma tolerância de 5m ao invés dos 2,50m .

```

Mon Feb 24 17:03:00 1992
LINEAR      x  LINEAR
Fenda5L.BX0 - Fenda5L.BY0
124 x 123 = 15252
Origem[0,0]: E 411000.000 N 9458650.000 Passo 50.000
Vmin[86,64] -6.139 Vmax[86,0] 10.702 Vmedio 0.107 +- 1.100

( -5.000, -7.500] c 28 0.18 %
( -2.500, -5.000] b 849 5.57 %
( 0.000, -2.500] a 5518 36.18 %
[ 0.000, 0.000] 0 1296 8.50 %
( 0.000, 2.500] A 6453 42.31 %
( 2.500, 5.000] B 1065 6.98 %
( 5.000, 7.500] C 41 0.27 %
[ -2.500, 2.500] T 13267 86.99 %

```

Tabela 6.6.a : RCPP parcial das malhas obtidas na direção X e Y com interpolador linear.

```

Mon Feb 24 17:24:41 1992
SORA x LINEAR FINAL.
G0784 - Fenda5L.BX4
  124 x 123 = 15252
Origem[0,0]: E 411000.000 N 9458650.000 Passo 50.000
Vmin[87,64] -7.484 Vmax[86,0] 10.028 Vmedio 0.282 +- 0.937

( -5.000, -7.500] c 6 0.04 %
( -2.500, -5.000] b 326 2.14 %
( 0.000, -2.500] a 6141 40.26 %
[ 0.000, 0.000] 0 6 0.04 %
( 0.000, 2.500] A 7777 50.99 %
( 2.500, 5.000] B 975 6.39 %
( 5.000, 7.500] C 19 0.12 %
[ -2.500, 2.500] T 13924 91.29 %

```

Tabela 6.6.b : RCPP parcial da malha final contra a malha produzida pelo SORA.

Os resultados das Tabelas 6.6.a e 6.6.b indicam as possibilidades de uso do interpolador linear. A malha final obtida com interpolador linear apresentou uma concordância de 86,99 % pelo critério de um quarto da equidistância das curvas de nível. Com relação a malha SORA, considerando-se uma tolerância de meia equidistância das curvas de nível, chegou-se a 91,29 % .

6.5.4 - TESTES COM "SPLINES".

As tabelas a seguir foram criadas a partir de resumos de RCPPs, tipo o da Tabela 6.6.a, para as diferentes áreas teste e interpoladores. Adotou-se a diferença em módulo para classificar os pontos nas categorias n0 nA nB nC e nZ. Para cada classe contou-se o número de ocorrências e estas foram tabeladas no valor da contagem e em termos percentuais em relação ao total de pontos da malha. Aqui, BX4-BX1 significa malha final editada menos a malha obtida na direção X com interpolador número 1 (SNC), etc. Os resultados se encontram no grupo de tabelas 6.7 a 6.11.

As tabelas constam de:

- a) Nome do interpolador, dimensões da malha e total de pontos úteis.
- b) Diferença entre a malha final editada menos a malha obtida do perfilamento na direção X. Objetiva verificar a contribuição da malha na direção X na escolha de pontos mais confiáveis durante a

edição automática .

c) Diferença entre a malha final editada menos a malha obtida do perfilamento na direção Y, verificando a contribuição da malha Y.

d) Diferença entre a malha final editada menos a malha obtida pelo SORA, para avaliar a concordância dos diferentes interpoladores.

O grupo de Tabelas 6.7 refere-se a área teste 8033.

O grupo de Tabelas 6.8 refere-se a área teste 0783.

O grupo de Tabelas 6.9 refere-se a área teste 0784.

O grupo de Tabelas 6.10 refere-se a área teste 27.

O grupo de Tabelas 6.11 refere-se a área teste 9146.

SPLINE NATURAL CÚBICO 78 x 78 = 6084 - Recorte => 6006 = 100%							
BX4-BX1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1716	3144	432	160	554	1146	4860
Percentual:	28,57	52,35	7,19	2,66	9,22	19,08	80,92
BX4-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1579	3182	413	178	654	1245	4761
Percentual:	26,29	52,98	6,88	2,96	10,89	20,73	79,27
BX1-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	12	3603	844	340	1207	2391	3615
Percentual:	0,20	59,99	14,05	5,66	20,10	39,81	60,19
G8033-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	3767	1000	411	828	2239	3767
Percentual:	0,00	62,72	16,65	6,84	13,79	37,28	62,72

Tabela 6.7.a : Mostra resultado RCPP para a área teste 8033.

Malhas interpoladas com SNC comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

B-SPLINE 78 x 78 = 6084 - Recorte => 6006 = 100%							
BX4-BX2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	917	4800	284	5	0	289	5717
Percentual:	15,27	79,92	4,73	0,08	0,00	4,81	95,19
BX4-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	882	4830	291	3	0	294	5712
Percentual:	14,69	80,42	4,85	0,05	0,00	4,90	95,10
BX2-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	20	5403	575	8	0	583	5423
Percentual:	0,33	89,96	9,57	0,13	0,00	9,71	90,29
G8033-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	4980	745	199	82	1026	4980
Percentual:	0,00	82,92	12,40	3,31	1,37	17,08	82,92

Tabela 6.7.b : Mostra resultado RCPP para a área teste 8033. Malhas interpoladas com BS comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE CUBICO HERMITE 78 x 78 = 6084 - Recorte => 6006 = 100%							
BX4-BX3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	809	4934	260	3	0	263	5743
Percentual:	13,47	82,15	4,33	0,05	0,00	4,38	95,62
BX4-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	783	4978	243	2	0	245	5761
Percentual:	13,04	82,88	4,05	0,03	0,00	4,08	95,92
BX3-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	20	5478	503	5	0	508	5498
Percentual:	0,33	91,21	8,37	0,08	0,00	8,46	91,54
G8033-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	5051	729	174	52	955	5051
Percentual:	0,00	84,10	12,14	2,90	0,87	15,90	84,10

Tabela 6.7.c : Mostra resultado RCPP para a área teste 8033. Malhas interpoladas com SCH comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE NATURAL CÚBICO 124x123= 15252 - Recorte => 14883 = 100%							
BX4-BX1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	3340	10120	754	245	424	1423	13460
Percentual:	22,44	68,00	5,07	1,65	2,85	9,56	90,44
BX4-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2546	10326	1068	325	618	2011	12872
Percentual:	17,11	69,38	7,18	2,18	4,15	13,51	86,49
BX1-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	5	11445	1822	570	1041	3433	11450
Percentual:	0,03	76,90	12,24	3,83	6,99	23,07	76,93
G0783-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	11471	2290	622	500	3412	11471
Percentual:	0,00	77,07	15,39	4,18	3,36	22,93	77,07

Tabela 6.8.a : Mostra resultado RCPP para a área teste 0783.
Malhas interpoladas com SNC comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

B-SPLINE 124 x 123 = 15252 - Recorte => 14883 = 100%							
BX4-BX2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2896	11115	822	50	0	872	14011
Percentual:	19,46	74,68	5,52	0,34	0,00	5,86	94,14
BX4-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2391	11282	1158	49	3	1210	13673
Percentual:	16,07	75,80	7,78	0,33	0,02	8,13	91,87
BX2-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	33	12770	1976	101	3	2080	12803
Percentual:	0,22	85,80	13,28	0,68	0,02	13,98	86,02
G0783-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	12494	1716	484	189	2389	12494
Percentual:	0,00	83,95	11,53	3,25	1,27	16,05	83,95

Tabela 6.8.b : Mostra resultado RCPP para a área teste 0783.
Malhas interpoladas com BS comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE CUBICO HERMITE 124x123= 15252 - Recorte => 14853 = 100%							
BX4-BX3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2463	11809	610	1	0	611	14272
Percentual:	16,55	79,35	4,10	0,01	0,00	4,11	95,89
BX4-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1796	12159	907	17	4	928	13955
Percentual:	12,07	81,70	6,09	0,11	0,03	6,24	93,76
BX3-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	33	13313	1513	20	4	1537	13346
Percentual:	0,22	89,45	10,17	0,13	0,03	10,33	89,67
G0783-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	12516	1839	424	104	2367	12516
Percentual:	0,00	84,10	12,36	2,85	0,70	15,90	84,10

Tabela 6.8.c : Mostra resultado RCPP para a área teste 0783.

Malhas interpoladas com SCH comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE NATURAL CUBICO 124x123= 15252 - Recorte => 15252 = 100%							
BX4-BX1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	3477	10471	760	237	307	1304	13948
Percentual:	22,80	68,65	4,98	1,55	2,01	8,55	91,45
BX4-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2497	10755	1029	309	662	2000	13252
Percentual:	16,37	70,52	6,75	2,03	4,34	13,11	86,89
BX1-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	17	11930	1788	546	971	3305	11947
Percentual:	0,11	78,22	11,72	3,58	6,37	21,67	78,33
G0784-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	11729	2418	617	488	3523	11729
Percentual:	0,00	76,90	15,85	4,05	3,20	23,10	76,90

Tabela 6.9.a : Mostra resultado RCPP para a área teste 0784.

Malhas interpoladas com SNC comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

B-SPLINE 124 x 123 = 15252 - Recorte => 15252 = 100%							
BX4-BX2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2948	11343	914	45	2	961	14291
Percentual:	19,33	74,37	5,99	0,30	0,01	6,30	93,70
BX4-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2423	11596	1171	62	0	1233	14019
Percentual:	15,89	76,03	7,68	0,41	0,00	8,08	91,92
BX2-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	36	13022	2085	107	2	2194	13058
Percentual:	0,24	85,38	13,67	0,70	0,01	14,38	85,62
G0784-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	12727	1817	504	204	2525	12727
Percentual:	0,00	83,44	11,91	3,30	1,34	16,56	83,44

Tabela 6.9.b : Mostra resultado RCPP para a área teste 0784.
Malhas interpoladas com BS comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE CÚBICO HERMITE 124x123= 15252 - Recorte => 15252 = 100%							
BX4-BX3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2349	12183	709	8	3	720	14532
Percentual:	15,40	79,88	4,65	0,05	0,02	4,72	95,28
BX4-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1870	12528	851	3	0	854	14398
Percentual:	12,26	82,14	5,58	0,02	0,00	5,60	94,40
BX3-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	36	13642	1560	11	3	1574	13678
Percentual:	0,24	89,44	10,23	0,07	0,02	10,32	89,68
G0784-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	12722	1942	463	125	2530	12722
Percentual:	0,00	83,41	12,73	3,04	0,82	16,59	83,41

Tabela 6.9.c : Mostra resultado RCPP para a área teste 0784.
Malhas interpoladas com SCH comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE NATURAL CUBICO 125x125= 15625 - Recorte => 15233 = 100%							
BX4-BX1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2453	10449	962	349	1020	2331	12902
Percentual:	16,10	68,59	6,32	2,29	6,70	15,30	84,70
BX4-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	3810	9878	674	259	612	1545	13688
Percentual:	25,01	64,85	4,42	1,70	4,02	10,14	89,86
BX1-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	7	11344	1637	605	1640	3882	11351
Percentual:	0,05	74,47	10,75	3,97	10,77	25,48	74,52
G27-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2	12052	1882	562	735	3179	12054
Percentual:	0,01	79,12	12,35	3,69	4,83	20,87	79,13

Tabela 6.10.a : Mostra resultado RCPP para a área teste 27.
Malhas interpoladas com SNC comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

B-SPLINE 125 x 125 = 15625 - Recorte => 15233 = 100%							
BX4-BX2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1398	13258	474	66	37	577	14656
Percentual:	9,18	87,03	3,11	0,43	0,24	3,79	96,21
BX4-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1688	13072	414	34	25	473	14760
Percentual:	11,08	85,81	2,72	0,22	0,16	3,11	96,89
BX2-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	31	14152	888	100	62	1050	14183
Percentual:	0,20	92,90	5,83	0,66	0,41	6,89	93,11
G27-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	2	13090	1598	333	210	2141	13092
Percentual:	0,01	85,93	10,49	2,19	1,38	14,06	85,94

Tabela 6.10.b : Mostra resultado RCPP para a área teste 27.
Malhas interpoladas com BS comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE CÚBICO HERMITE 125x125= 15625 - Recorte => 15233 = 100%							
BX4-BX3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1213	13457	451	45	67	563	14670
Percentual:	7,96	88,34	2,96	0,30	0,44	3,70	96,30
BX4-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1745	13019	367	52	50	469	14764
Percentual:	11,46	85,47	2,41	0,34	0,33	3,08	96,92
BX3-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	31	14170	818	97	117	1032	14201
Percentual:	0,20	93,02	5,37	0,64	0,77	6,77	93,23
G27-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	3	13064	1591	351	224	2166	13067
Percentual:	0,02	85,76	10,44	2,30	1,47	14,22	85,78

Tabela 6.10.c : Mostra resultado RCPP para a área teste 27.
Malhas interpoladas com SCH comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE NATURAL CÚBICO 78 x 78 = 6084 - Recorte => 6084 = 100%							
BX4-BX1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	960	4402	363	101	258	722	5362
Percentual:	15,78	72,35	5,97	1,66	4,24	11,87	88,13
BX4-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1317	4334	296	59	78	433	5651
Percentual:	21,65	71,24	4,87	0,97	1,28	7,12	92,88
BX1-BY1:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	3	4924	659	159	339	1157	4927
Percentual:	0,05	80,93	10,83	2,61	5,57	19,02	80,98
G9146-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	5528	425	89	42	556	5528
Percentual:	0,00	90,86	6,99	1,46	0,69	9,14	90,86

Tabela 6.11.a : Mostra resultado RCPP para a área teste 9146.
Malhas interpoladas com SNC comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

B-SPLINE 78 x 78 = 6084 - Recorte => 6084 = 100%							
BX4-BX2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1251	4487	324	22	0	346	5738
Percentual:	20,56	73,75	5,33	0,36	0,00	5,69	94,31
BX4-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	976	4602	482	24	0	506	5578
Percentual:	16,04	75,64	7,92	0,39	0,00	8,32	91,63
BX2-BY2:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	10	5222	806	46	0	852	5232
Percentual:	0,16	85,83	13,25	0,76	0,00	14,00	86,00
G9146-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	5216	606	185	77	868	5216
Percentual:	0,00	85,73	9,96	3,04	1,27	14,27	85,73

Tabela 6.11.b : Mostra resultado RCPP para a área teste 9146. Malhas interpoladas com BS comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

SPLINE CUBICO HERMITE 78 x 78 = 6084 - Recorte => 6084 = 100%							
BX4-BX3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	1053	4734	295	2	0	297	5787
Percentual:	17,31	77,81	4,85	0,03	0,00	4,88	95,12
BX4-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	826	4848	408	2	0	410	5674
Percentual:	13,58	79,68	6,71	0,03	0,00	6,74	93,26
BX3-BY3:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	10	5367	703	4	0	707	5377
Percentual:	0,16	88,21	11,55	0,07	0,00	11,62	88,38
G9146-BX4:	n0:	nA:	nB:	nC:	nZ:	B-Z:	O-A:
Contagem :	0	5364	536	151	33	720	5364
Percentual:	0,00	88,17	8,81	2,48	0,54	11,83	88,17

Tabela 6.11.c : Mostra resultado RCPP para a área teste 9146. Malhas interpoladas com SCH comparadas entre si e contra a malha obtida pelo SORA.

6.5.5 - RESUMO DA COMPARAÇÃO COM AS MALHAS DO SORA.

Os percentuais relativos de pontos que satisfazem a especificação do DTM, retirados das tabelas entre Tabela 6.7.a e Tabela 6.11.c , foram reunidos para formar as tabelas entre Tabela 6.12.a e Tabela 6.12.e. Cada coluna das tabelas representa os percentuais obtidos das diferenças entre duas malhas.

A Figura 6.8 mostra a forma das tabelas que constam de:

- a) Nome da área teste e interpoladores utilizados.
- b) Percentual obtido da malha final editada menos a malha proveniente do perfilamento na direção X, para os diferentes interpoladores, retratando a contribuição da malha X para a malha final.
- c) O mesmo para a malha proveniente do perfilamento na direção Y.
- d) Percentual real de pontos que atenderam as especificações do DTM para o interpolador em questão e percentual proveniente da diferença entre a malha final editada menos a malha obtida pelo SORA, medindo a concordância da malha final em relação a malha SORA.

AREA (percentual)		BS	BS	SCH	SCH
SNC	SNC	X	X	X	X
SNC	SORA	BS	SORA	SCH	SORA
BX4-BX1		BX4-BX2		BX4-BX3	
BX4-BY1		BX4-BY2		BX4-BY3	
BX1-BY1	SORA-BX4	BX2-BY2	SORA-BX4	BX3-BY3	SORA-BX4

Figura 6.8: Ilustra a forma como os pares de malhas foram combinados na composição das Tabelas 6.12.a a 6.12.e, separando os pontos que satisfazem as especificações do DTM.

- A Tabela 6.12.a refere-se a área teste 8033.
- A Tabela 6.12.b refere-se a área teste 0783.
- A Tabela 6.12.c refere-se a área teste 0784.
- A Tabela 6.12.d refere-se a área teste 27.
- A Tabela 6.12.e refere-se a área teste 9146.

8033 (percentual)						
	SNC x SNC	SNC x SORA	BS x BS	BS x SORA	SCH x SCH	SCH x SORA
BX#	80,92		95,19		95,62	
BY#	79,27		95,10		95,92	
BX4	60,19	62,72	90,29	82,92	91,54	84,10

Tabela 6.12.a : Resumo da comparação entre malhas da área 8033 com os interpoladores SNC, BS, SCH contra a malha gerada pelo SORA.

	SNC x SNC	SNC x SORA	BS x BS	BS x SORA	SCH x SCH	SCH x SORA
BX#	90,44		94,14		95,89	
BY#	86,49		91,87		93,76	
BX4	76,93	77,07	86,02	83,95	89,67	84,10

Tabela 6.12.b : Resumo da comparação entre malhas da área 0783 com os interpoladores SNC, BS, SCH contra a malha gerada pelo SORA.

0784 (percentual)						
	SNC x SNC	SNC x SORA	BS x BS	BS x SORA	SCH x SCH	SCH x SORA
BX#	91,45		93,70		95,28	
BY#	86,89		91,92		94,40	
BX4	78,33	76,90	85,62	83,44	89,68	83,41

Tabela 6.12.c : Resumo da comparação entre malhas da área 0784 com os interpoladores SNC, BS, SCH contra a malha gerada pelo SORA.

27 (percentual)						
	SNC x SNC	SNC x SORA	BS x BS	BS x SORA	SCH x SCH	SCH x SORA
BX#	84,70		96,21		96,30	
BY#	89,86		96,89		96,92	
BX4	74,52	79,13	93,11	85,94	93,23	85,78

Tabela 6.12.d : Resumo da comparação entre malhas da área 27 com os interpoladores SNC, BS, SCH contra a malha gerada pelo SORA.

9146 (percentual)						
	SNC x SNC	SNC x SORA	BS x BS	BS x SORA	SCH x SCH	SCH x SORA
BX#	88,13		94,31		95,12	
BY#	92,88		91,68		93,26	
BX4	80,98	90,86	86,00	85,73	88,38	88,17

Tabela 6.12.e : Resumo da comparação entre malhas da área 9146 com os interpoladores SNC, BS, SCH contra a malha gerada pelo SORA.

Na Tabela 6.13 estão reunidos por interpolador os percentuais dos pontos que satisfazem as especificações do DTM. Para cada par de colunas tem-se a estimativa obtida neste trabalho e o resultado da contagem quando se comparou a malha final com a sua correspondente gerada pelo programa SORA da WILD.

	PERCENTUAL DOS PONTOS CLASSE "A" EM RELAÇÃO AO SORA		SNC x SORA		BS x SORA		SCH x SORA	
	SNC	SORA	BS	SORA	SCH	SORA	SNC	SORA
8033	60,19	62,72	90,29	82,92	91,54	84,10		
0783	76,93	77,07	86,02	83,95	89,67	84,10		
0784	78,33	76,90	85,62	83,44	89,68	83,41		
27	74,52	79,13	93,11	85,94	93,23	85,78		
9146	80,98	90,86	86,00	85,73	88,38	88,17		

Tabela 6.13: Resumo extraído das tabelas do grupo 6.12 contendo apenas os percentuais de pontos classe 0-A estimados para a malha final.

Na Tabela 6.13, na coluna referente ao SNC, os percentuais de pontos classe A estimados por este trabalho são inferiores aos resultados obtidos da comparação com a malha SORA porque o SNC apresenta maior frequência na geração de oscilação que os outros interpoladores motivando uma maior diferença entre as malhas obtidas na direção X e Y. Já as colunas relativas ao BS e SCH apresentam estimativas superiores as encontradas na comparação com o SORA. Isto se justifica pelos resultados obtidos nos TDIR apresentados nas tabelas entre Tabela 6.5.a e Tabela 6.5.e.

Na tabela 6.14 estão reunidos por interpolador os percentuais obtidos para os pontos das malhas finais quando comparados com as malhas correspondentes geradas pelo programa SORA.

	CONCORDANCIA GERAL EM RELAÇÃO AO SORA		
	SNCxSORA	BSxSORA	SCHxSORA
8033	62,72 %	82,92 %	84,10 %
0783	77,07 %	83,95 %	84,10 %
0784	76,90 %	83,44 %	83,41 %
27	79,13 %	85,94 %	85,78 %
9146	90,86 %	85,73 %	88,17 %

Tabela 6.14: Concordância das malhas geradas pelos diferentes interpoladores em relação as malhas SORA.

A Tabela 6.14 mostra que os interpoladores apresentaram uma concordância em relação a malha SORA na ordem SNC seguido do BS e finalmente o SCH, que foi o que mais se aproximou do SORA.

6.5.6 - TESTES DE DESEMPENHO.

Nestes testes procurou medir-se o desempenho dos interpoladores, dos programas individualmente e o tempo gasto para a geração de malhas, com diferentes resoluções, para os mesmos dados de entrada.

6.5.6.1- DESEMPENHO DOS INTERPOLADORES.

Os interpoladores são aplicados para a obtenção dos perfis com pontos igualmente espaçados conforme descrito no capítulo 4 item 4.2 e implementado pelo programa BPI_BPf apresentado no capítulo 5 item 5.2.1.3. Para este teste mediu-se o tempo para interpolação dos mesmos perfis, com diferentes interpoladores, para a obtenção de malhas com 50m de espaçamento. O tempo, apresentado na Tabela 6.15, está expresso em minutos e segundos, e foi medido utilizando-se um equipamento PC-XT. Na Tabela 6.15 consta o nome da área teste e a quantidade de pontos interpolados.

	0783	0784	27
MALHA:	124 x 123	124 x 123	125 x 125
PONTOS:	15252	15252	15625
LINEAR		3 : 02	
SNC	27 : 28	28 : 57	21 : 22
BS	5 : 25	5 : 42	4 : 39
SCH	6 : 10	6 : 07	4 : 56

Tabela 6.15: Resultado do tempo de interpolação para os diferentes interpoladores.

Os resultados apresentados na Tabela 6.15 indicam um tempo relativamente baixo para o interpolador LINEAR em reação aos outros. O SNC mostra um tempo elevado devido ao sistema de equações a ser resolvido, conforme apresentado no capítulo 3 item 3.3. Já o BS e o SCH têm tempos relativamente próximos e baixos quando comparados com o SNC.

6.5.6.2 - DESEMPENHO DOS PROGRAMAS.

Mediu-se o tempo das quatro etapas necessárias à geração do DTM objetivando verificar quais as etapas devem merecer mais prioridade em termos de otimização. O tamanho dos arquivos de entrada está expresso em "bytes" e em número de registros. As malhas de saída desejadas têm o mesmo espaçamento de 50m, e empregou-se o SCH. O tempo, apresentado na Tabela 6.16, está expresso em minutos e segundos para o PC-XT. Constam na tabela:

- a) O nome das áreas teste.
- b) O tamanho dos arquivos de entrada de isolinhas em "bytes".
- c) O número de registros dos arquivos de entrada de isolinhas.
- e) A dimensão das malhas em número de linhas e de colunas.
- f) A quantidade de pontos interpolados.
- g) A relação de programas envolvidos na obtenção do DTM e o tempo gasto por cada um deles.

	8033	0783	0784	
"BYTES"	486846	607500	649106	
REGs:	15691	19451	20744	
MALHA:	124 x 123	124 x 123	125 x 125	
PONTOS:	15252	15252	15625	
TXT_BPId	37 : 45	50 : 18	50 : 54	(perfilamento)
BPI_BPf	5 : 31	5 : 37	6 : 28	(interpolação)
BPf_BGf	2 : 13	2 : 14	2 : 14	(reorganização)
BGf_EDIT	12 : 47	14 : 29	16 : 47	(edição final)

Tabela 6.16 : Tempo das etapas necessárias a geração da malha DTM.

Os resultados indicam que as etapas de perfilamento e de edição são as que mais tempo consomem.

6.5.6.3 - TESTES DE RESOLUÇÃO DO DTM VERSUS TEMPO.

Mediu-se o tempo total para a geração do DTM, utilizando o SCH, objetivando a escolha ou aceitabilidade dos equipamentos, e a influência da resolução no planejamento e custo do DTM. Realizou-se o teste em três diferentes equipamentos. PC-XT, PC-AT e PC-386. Trabalhou-se com quatro "fendas" (janelas de projeção) disponíveis no ortoprojetor WILD-OR1. As "fendas" são medidas em milímetros que na escala 1:10000 correspondem a resoluções de

160m, 120m, 80m e 50m. Nas Tabelas 6.17.a a 6.17.c aparecem:

- a) O equipamento e o nome das áreas teste.
- b) O numero da fenda e totais de pontos interpolados e os tempos obtidos para as três áreas teste.

PC-XT	8033	0783	0784
F16: 39 x 39 = 1521	20 : 15	23 : 26	24 : 59
F12: 52 x 51 = 2652	25 : 01	29 : 13	31 : 20
F08: 77 x 78 = 6006	36 : 02	42 : 08	45 : 16
F05: 124 x 123 = 15252	58 : 28	73 : 12	76 : 35

Tabela 6.17.a: Tempo total em um PC-XT para obtenção do DTM com as resoluções F16: 160m, F12: 120m, F08: 80m e F05: 50m.

PC-AT	8033	0783	0784
F16: 39 x 39 = 1521	4 : 34	5 : 46	6 : 58
F12: 52 x 51 = 2652	6 : 26	7 : 35	8 : 20
F08: 77 x 78 = 6006	9 : 30	11 : 02	12 : 03
F05: 124 x 123 = 15252	17 : 33	22 : 04	22 : 22

Tabela 6.17.b: Tempo total em um PC-AT para obtenção do DTM com as resoluções F16: 160m, F12: 120m, F08: 80m e F05: 50m.

PC-386	8033	0783	0784
F16: 39 x 39 = 1521	1 : 44	1 : 59	2 : 07
F12: 52 x 51 = 2652	2 : 14	2 : 35	2 : 44
F08: 77 x 78 = 6006	3 : 14	3 : 50	4 : 06
F05: 124 x 123 = 15252	5 : 48	6 : 50	7 : 00

Tabela 6.17.c: Tempo total em um PC-386 para obtenção do DTM com as resoluções F16: 160m, F12: 120m, F08: 80m e F05: 50m.

Nas tabelas entre 6.17.a e 6.17.c, comparando os tempos relativos ao tipo de computador, indicam que mesmo em um equipamento tipo PC-AT os tempos já são relativamente aceitáveis para a aplicação prática dos procedimentos propostos neste trabalho.

C A P I T U L O 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1- CONCLUSÕES:

a) Os resultados alcançados mostram que, com a alternativa proposta neste trabalho, pode-se produzir DTMs aplicáveis na prática. É importante ressaltar que mesmo os DTMs produzidos pelo SORA apresentam falhas, não podendo ser encarados como padrão absoluto, embora o programa SORA já seja bastante difundido e aceito mundialmente. Apesar de disponíveis, não foram utilizados os recursos de edição manual sobre a malha final, o que poderia melhorar os resultados. A amostragem dos dados deveria ir além da área desejada para a malha, o que não aconteceu, em algumas regiões, como pode ser observado nas molduras interiores (limites das malhas) nas figuras entre 6.1 e 6.5.

b) Embora tenham sido localizados erros nos dados de entrada, não se fez nenhuma correção nestes dados, para que as comparações adicionais ficassem em igualdade de condições com o SORA. O programa SORA é bastante deficiente na localização de erros de amostragem. O procedimento descrito no capítulo 4 item 4.6 permite localizar curvas de nível não restituídas ou entrelaçadas, pois, em ambos os casos, ocorrerá um salto maior que a equidistância entre as curvas, nos pontos sucessivos de um perfil. Considerando os dados como nuvem de pontos cotados não se detectam estas situações.

c) A avaliação ponto a ponto mostrou-se eficiente na localização das oscilações dos interpoladores e sua apresentação visual sobreposta aos dados de entrada indicou as áreas com deficiência de amostragem ou um mau comportamento do interpolador.

d) Nos testes de discrepância por interpolação reversa TDIR, o exame das tabelas entre 6.5.a e 6.5.e indicam resultados mais favoráveis aos DTMs calculados pela técnica proposta neste trabalho em relação aquela adotada pelo programa SORA. São necessários novos testes em outras áreas para comprovar, estatisticamente, a hipótese sobre a superioridade de uma técnica

em relação a outra. Este teste também fornece uma indicação de que a expectativa de erros inferiores a 2,50m exigiria uma malha mais densa nas regiões acidentadas.

e) Os resultados apresentados na tabela 6.5.g e figuras 6.7.c a 6.7.f, confirmam a não indicação de deficiência de amostragem no RCPP da área 27, para a região apontada como problema no teste TDIR. Quando mais fina a malha mais fielmente se consegue reproduzir o terreno.

f) No capítulo 6, item 6.5.3, o teste com o interpolador linear mostra que mesmo este pode ter aplicação pois apresentou uma concordância de 91,29 % em relação ao SORA, a nível de 5m de tolerância. O interpolador linear não modela com perfeição os fundos de vale e topos de elevações, a menos que a densidade de amostragem seja muito elevada. O tempo de interpolação é muito inferior ao dos outros interpoladores conforme registrado na Tabela 6.15.

g) Nos testes efetuados com "spline", apresentados no capítulo 6 item 6.5.4, os resultados quando se subtraiu da malha final BX4 as malhas obtidas dos perfilamentos nas direções X e Y (BX# e BY#), notou-se um equilíbrio nos percentuais dos pontos da classe 0-A indicando que as oscilações não apresentaram tendenciosidade. Os percentuais estimados para os pontos da classe 0-A, oscilaram sendo hora inferiores e hora superiores em relação ao SORA. Isto indica que esta estimativa também não apresenta tendenciosidade.

h) Na tabela 6.14, observa-se que a qualidade dos interpoladores segue a ordem SNC, BS, SCH, quando comparado em relação as malhas SORA. Os resultados apresentados na Tabela 6.13 comparando as malhas obtidas na direção X e Y também levam a esta mesma conclusão. O SNC apresentou melhor resultado apenas para a área teste G9146. Esta área possui topografia bastante uniforme, conforme Figura 6.5. Constatou-se que o SNC é mais sujeito a oscilação devido à continuidade na segunda derivada e a imposição da coincidência da função com os pontos de controle. Quanto ao tempo de processamento, registrado na tabela 6.15, este é maior

para o SNC devido ao sistema de equações a ser resolvido.

i) Nos testes de desempenho dos programas, apresentados na Tabela 6.16, observa-se um aumento de tempo quando cresce o volume de dados de entrada. Isto ocorre apenas para o programa de perfilamento uma vez que os outros não mais manipulam os dados de entrada. Nota-se também que as fases de perfilamento e edição são as que mais tempo consomem, devendo ser as primeiras a sofrer otimização. A densidade de pontos nas isolinhas deve ser controlada na aquisição, de maneira a não haver um excesso de segmentos dentro de uma isolinha, ou pior, uma falta de pontos uma vez que durante o perfilamento se emprega interpolação linear.

j) Os testes de resolução versus tempo, sintetizados na tabela 6.17, indicam que o tempo para a geração do DTM é proporcional ao número de perfis. Quando se aumentou a quantidade de pontos de 1521 para 15252 o tempo ficou triplicado, ou seja, passou-se de 78 perfis para 247.

7.2- RECOMENDAÇÕES:

a) Aconselha-se que o programa de aquisição de dados, através da digitalização de cartas analógicas, tenha a capacidade de digitalizar linhas complementares nas bordas das cartas. Estas linhas deverão ser interpretadas como descontinuidades (" break lines ") e evitarão a ocorrência de oscilações indesejadas nas fronteiras da carta. É desejável também a possibilidade de criação de linhas transversais às curvas de nível, quando essas seguirem direções paralelas aos eixos de coordenadas, para evitar que perfis paralelos aos eixos passem no vazio.

b) Um melhor estudo para o tratamento das oscilações a que são sujeitos os interpoladores, conforme apresentado no capítulo 4 item 4.2, pela análise das situações onde elas ocorrem. Uma solução promissora é a adoção de nós múltiplos para os splines.

c) Análise das regiões que apresentam desvios nos relatórios RCPP, verificando as causas das discrepâncias e possíveis soluções

em termos de amostragem.

d) A quantidade de informação a ser armazenada e manipulada na memória do computador está intimamente ligada à distribuição espacial dos dados. Estudos relacionados à aquisição racional, filtragem de dados redundantes e compressão de dados têm sido fruto de pesquisa e métodos, tais como a amostragem progressiva, tem sido propostos e devem ser testados.

e) Os custos de pessoal, tempo, material e de equipamentos devem ser objeto de estudo uma vez que esta é a etapa mais cara e a que mais tempo consome. Outros aspectos mais subjetivos como o conforto, fadiga, preferências dos operadores de instrumentos também devem ser observados.

f) Existe a necessidade de se pesquisar métodos para a detecção de erros grosseiros e sistemáticos, para os diversos precedimentos de amostragem, bem como a propagação desses erros.

g) A existência de padrões de "layout" de arquivos seria de grande interesse para a comunidade, facilitando o intercâmbio de dados.

h) Estudos no sentido de se trabalhar com malhas de resolução variáveis mostram-se necessários. Isto poderá melhorar a qualidade e diminuir o tempo de produção de ortofotocartas.

EM BRANCO

ANEXOS

INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE OS PROGRAMAS.....	115
PROGRAMA 3SPLINES.C.....	133
PROGRAMA PARA "MOUSE".....	144
PROGRAMA PARA MESA DIGITALIZADORA EM MODO ASCII.....	147
PROGRAMA PARA MESA DIGITALIZADORA EM MODO BINÁRIO.....	150
ROTINA PARA ENTRADA DE DADOS EM C.....	153
ROTINA PARA RECORTE DE SEGMENTOS (JANELA).....	156
PROGRAMA PARA ORIENTAÇÃO DE MESA DIGITALIZADORA (AFIM).....	160
ROTINAS PARA TRANSFORMAÇÕES ANGULARES.....	165

1- INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE OS PROGRAMAS.

Neste anexo são apresentadas informações adicionais acerca dos programas e de alguns arquivos binário.

1.1- TXT_BPId:

O programa TXT_BPId tem como objetivo a construção de perfis, paralelos aos eixos cartesianos, a partir dos dados de isolinhas, pontos cotados e linhas de descontinuidades ("break lines") contidos em arquivos .TXT. O processo para a obtenção destes perfis encontra-se explanado no capítulo 4, ítem 4.1.

Entrada:

Os dados de entrada são o arquivo com as diretrizes .IPE e o .TXT de isolinhas, cujo nome se encontra no registro tipo A do projeto .

Processamento:

O programa interpreta os dados contidos no arquivo .IPE, e processa seqüencialmente as entidades contidas no arquivo .TXT de isolinhas, conforme descrito no capítulo 4 ítem 4.1. As interseções das isolinhas com os perfis são armazenadas em disco, em um arquivo temporário, de extensão .\$\$\$, na forma de lista encadeada. Mensagens informam inconsistências nos dados e o andamento do processo. Calcula simultaneamente os perfis tando na direção X quanto Y.

Saída:

Como resultado são gerados uma série de arquivos binários cujo nome difere do .IPE apenas em extensão. São eles:

- .BPI Binário com Perfis Irregulares.
- .BBL Binário Break Lines.
- .BPC Binário de Pontos Cotados.

1.2- TXT_BPIm:

Desempenha a mesma tarefa de TXT_BPId porém constroi os perfis inteiramente em memória organizando as intercessões das

isolinhas com os perfis em árvores binárias (uma para cada perfil).

1.3- PLOTETXT:

Programa de apoio. Possibilita visualizar no monitor gráfico simultaneamente dois arquivos. A forma de operação é idêntica a do DTM_MENU. Serve principalmente para a localização visual de erros. Permite também criar arquivos destinados a impressoras gráficas e a traçadores ("plotter") compatíveis com os fabricantes Hewlett Packard e Calcomp.

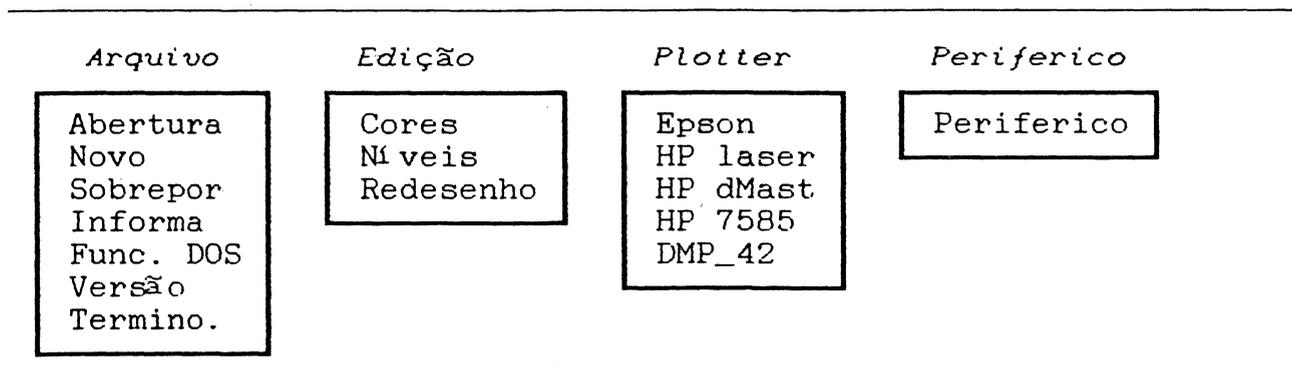


Figura 1: Menu principal do programa PLOTETXT.

a) MENU ARQUIVO.

Dentro do "menu" Arquivo, as opções de destaque são:

Abertura: abre o arquivo principal e estabelece a relação de escala de visualização (enquadramento).

Novo: fecha arquivos abertos e abre um novo arquivo principal enquadrando-o em relação ao monitor gráfico.

Sobrepor: abre o arquivo secundário, respeitando a relação de escala de enquadramento do principal.

Uma vez estando o desenho em tela, pode-se ampliar regiões, pelo uso de uma janela, controlada pelas setas (← → ↓ ↑), pela tecla <ENTER> para confirmação, e <ESC> para cancelamento. A janela primeiramente deve ser deslocada pelo uso das setas. A tecla <ENTER> fixa o canto superior; a partir daí as setas servem para abrir ou fechar a janela até que pressionada novamente a tecla <ENTER>, ativa-se a ampliação. O "mouse", se presente, será

automaticamente usado. Há também disponíveis rotinas para mesas digitalizadoras que poderão funcionar como "mouse". A transmissão dos dados deve ser em formato ASCII.

b) MENU PLOTTER.

O "menu" *Plotter* gera arquivos destinados a impressoras gráficas e a traçadores. Para que as opções se torne disponíveis é preciso a existencia de um arquivo TXT aberto pelas alternativas apresentadas anteriormente. Pode-se selecionar a escala do desenho e desenhar-se toda a figura ou apenas uma região, correspondente a uma janela.

Para a impressora padrão EPSON, gera-se um arquivo de extensão EPS que deverá ser enviado à impressora pelo comando:

```
COPY Nome.EPS PRN /B <ENTER>
```

Este comando redireciona a saída do copy para a impressora e o /B significa copiar em modo binário, ou seja, desconsiderando a ação dos caracteres de controle tratando-os como dados ordinários.

Para a impressora HP_laser gera-se um arquivo, em formato ASCII, com extensão HPL, que pode ser enviado a impressora pelo comando PRINT do sistema operacional.

Para as três alternativas restantes, referentes aos traçadores, geram-se arquivos ASCII com extensão HPD HP5 e DMP respectivamente. Estes arquivos podem ser enviados aos traçadores pela seqüência de comandos:

```
MODE LPT1: = COM1:  
MODE COM1:9600,N,8,1  
PRINT NomeArq.HP5
```

A primeira linha redireciona a saída da impressora para a porta serial número 1.

A segunda linha configura a porta serial em relação a velocidade de comunicação, paridade, bits por dado e número de "stop" bits.

A terceira linha envia o arquivo para a porta serial.

Obs: Estas linhas devem estar de acordo com a conexão do traçador. Devem ser desativadas as opções de protocolo de comunicação, tais como XON/XOFF ou ACK/NAK deixando o controle de fluxo de informações a cargo do "hardware" o que é chamado de "hardwire handshake". Normalmente, o "default" para os traçadores HP é XON/XOFF.*

1.4- TXT OK.

Consiste o arquivo de entrada de isolinhas pela comparação entre o valor esperado e o valor medido para a cota dos pontos.

Entrada: a entrada consta de um arquivo .TXT com os dados da digitalização de isolinhas, etc.

Processamento: comparação do isovalor constante no registro tipo I contra as cotas Z contidas em registros tipo 1 e 2, conforme descrito no capítulo 5 ítem 5.5.2.

Saída: arquivo ERROSTXT.TXT em formato .TXT contendo símbolos que marcam as entidades suspeitas. O arquivo de entrada e o de erros podem ser visualizados no monitor gráfico pelo uso do programa PLOTETXT. Adicionalmente aos campos do registro tipo 1 aparece o número da linha, dentro do arquivo de entrada, onde o erro foi detectado. Isto facilita a correção se for usado um editor de textos. Na seqüência há uma amostra do arquivo de saída.

```
<< CartoCad - Versao 2.00 - Arquivo: ErrosTXT.TXT
<< Data: 05/02/92 - Hora: 11:59 - Bytes:
D102304ErrosTXT          ← descritor nível.
S10230020.00Iso  890.00  ← entidade símbolo.
1 677925.588170064.23 870.1201 2001 ← indicação da linha.
```

Figura 2: Amostra de um arquivo ERROSTXT.TXT

1.5- BPI Bpf:

A partir dos perfis irregulares, interpola os perfis regulares, nas direções X e Y, no intervalo desejado para a malha de saída.

* Para maiores detalhes ver MENEZES nas Referencias Bibliograficas.

Entrada: arquivo de instruções .IPE e .BPI (Binário de Perfis Irregulares).

Processamento: interpolação com a função escolhida.

Saída: arquivo .BP# (Binário com Perfis regulares interpolados com a função número #)

1.6- BPI ok:

Consiste os perfis irregulares, obtidos diretamente das isolinhas, contra o espaçamento entre elas, de forma a detectar possíveis erros na digitalização tais como o esquecimento de alguma isolinha ou a atribuição de um isovalor errado ou ainda o entrelaçamento de isolinhas. Este tipo de consistência se encontra explicado no capítulo 4, item 4.6.

Entrada: arquivo de instruções .IPE e .BPI (Binário com Perfis Irregulares).

Processamento: consistência pela equidistância entre isolinhas.

Saída: arquivo ERROSBPI.TXT em formato .TXT contendo símbolos que marcam as entidades suspeitas. A descrição do arquivo de saída aparece no capítulo 5 item 5.5.3.

1.7- BPI SPI:

Gera arquivo seqüencial a partir do binário. A forma dos dados no seqüencial se assemelha à disposição das informações dentro do binário.

Entrada: arquivo .BPI (Binário com Perfis Irregulares).

Processamento: conversão de formato.

Saída: arquivo .SPI (Seqüencial com Perfis Irregulares) ou no monitor via redireção.

1.8- BBL SBL:

Gera arquivo seqüencial a partir do binário. A forma dos

dados no seqüencial é semelhante à disposição das informações do arquivo binário.

Entrada: arquivo .BBL (Binário de Break Lines).

Processamento: conversão de formato.

Saída: arquivo .SBL (Seqüencial de Break Lines).

1.9- BPC SPC:

Gera arquivo seqüencial a partir do binário. O dados são escritos no seqüencial na mesma ordem em que se encontram dentro do arquivo binário.

Entrada: arquivo .BPC (Binário de Pontos Cotados).

Processamento: conversão de formato.

Saída: arquivo .SPC (Seqüencial de Pontos Cotados).

1.10- BPf BGf:

Reorganiza os dados de perfis, interpolados nas direções X e Y, com pontos equiespaçados, para o formato de malha. Dentro das malhas os dados seguem uma disposição tipo matriz .

Entrada: arquivo de instruções .IPE, .BP# (Binário com Perfis regulares interpolados com a função número #)

Processamento: reorganização de dados.

Saída: arquivos de malha .BX# e .BY# onde # representa o interpolador utilizado.

1.11- BPf SPf:

Gera arquivo seqüencial a partir do binário. A disposição dos dados no seqüencial assemelha àquela do binário.

Entrada: arquivo BP# (Binário de Perfil Regular com interpolador #).

Processamento: conversão de formato.

Saída: saída em forma de arquivo SP# (Sequencial de Perfil Regular com interpolador #) ou no monitor via redireção.

1.12- xBGf_BGf:

A partir das malhas obtidas do perfilamento nas direções X e Y, obtém-se o relatório da comparação ponto a ponto, RCPP, cuja discussão aparece no capítulo 4 item 4.5. Considera-se o desvio em relação à média dos dois pontos para a elaboração do relatório.

Entrada: arquivos de malha .BX# e .BY# onde # representa o interpolador utilizado.

Processamento: cálculo dos desvios, média, e valores máximo e mínimo.

Saída: relatório de desvios BX#BY#.GG. (# interpolador)

1.13- BGf_BGf:

Programa de apoio. Permite visualizar no monitor gráfico simultaneamente o arquivo de isolinhas .TXT e três classes de desvio apresentadas em cores diferenciadas. Sobre o desenho das isolinhas aparecem pontos, assinalando os locais dos desvios. Corresponde à apreciação gráfica do relatório RCPP gerado por xBGf_BGf. Ativado, faz surgir em tela o "menu" apresentado a seguir. A operação é semelhante a de PLOTETXT merecendo destaque as alternativas *Abertura* e *Classes*.

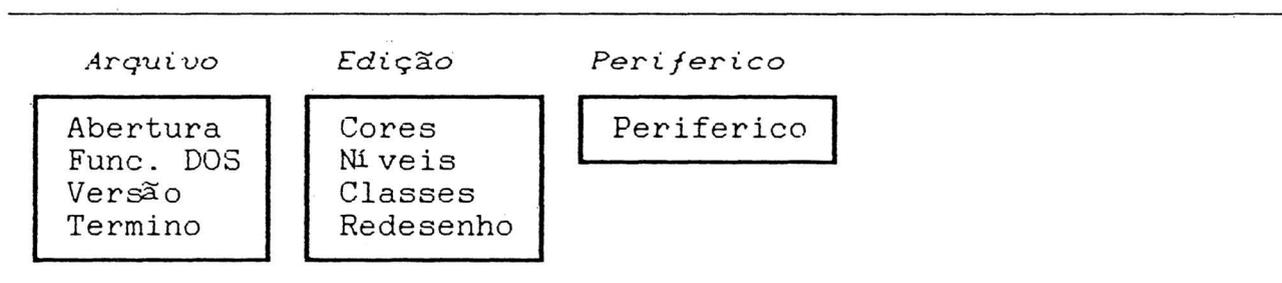


Figura 3: Menu principal do programa BGf_BGf.

Abertura: faz surgir uma tela onde devem ser informados o nome do arquivo de isolinhas .TXT e os dois arquivos de malha cuja comparação se deseja observar.

Classes: nesta, define-se a tolerância, em metros, a partir da qual se criam as três classes. Estabelecem-se também as cores de visualização das classes. A cor 0 (zero) faz com que a classe não apareça no desenho. A saída gráfica é semelhante a apresentada no capítulo 4 Figuras 4.19 e 4.20.

Entrada: arquivos .TXT de isolinhas e .BX#, .BY# com malhas.

Processamento: cálculo de desvios entre as duas malhas. Aqui mede-se o desvio pelo módulo da diferença entre a cota na primeira malha menos a cota homóloga na segunda malha.

Saída: desenho no terminal gráfico.

1.14- BGf EDIT:

De posse do arquivo contendo os perfis obtidos diretamente das isolinhas e das malhas geradas a partir do perfilamento nas duas direções, este programa efetua o cálculo da malha final pela combinação das duas malhas eliminando eventuais oscilações ocorridas na interpolação dos perfis regulares.

Entrada: arquivo .BPI (Binário com Perfis Irregulares) e arquivos de malha .BX# e .BY# onde # representa o interpolador utilizado.

Processamento: numa primeira etapa ocorre a geração da malha final pela combinação das malhas de entrada. Neste estágio, são eliminadas as oscilações de forma automática pelo critério apresentado no capítulo 4 item 4.4. Numa etapa posterior o operador pode deslocar verticalmente os pontos da malha final com o auxílio do teclado ou de um "mouse". A edição pode ser interrompida e retomada, sendo o arquivo atualizado a cada ativação no estado em que se encontrava quando ocorreu a interrupção.

Saída: arquivo .BX4 contendo a malha final editada.

1.15- BGf CON:

Mostra perfis paralelos ao eixo X contidos em arquivos de malha. Pode-se escolher o perfil a ser visualizado.

Entrada: nome do projeto .IPE ou Nome do arquivo BX# ou BY#.

contendo a malha que se deseja visualizar.

Processamento: transformações de visualização.

Saída: apresentação dos perfis que compõem a malha em forma numérica e gráfica.

1.16- xBPC BGf:

Estima a cota de pontos cotados, coletados como pontos de verificação, dentro da malha. Utiliza interpolação bilinear para calcular a cota. Apresenta um relatório em formato .TXT onde figuram o valor observado, o calculado e a diferença. Os pontos cotados com este objetivo devem ser separados em um nível e não devem participar da geração das malhas.

Entrada: arquivo .BPC (Binário de Pontos Cotados), arquivos de malha .BX# e .BY# onde # representa o interpolador utilizado.

Processamento: interpolação dos pontos cotados dentro da malha.

Saída: arquivo seqüencial de conteúdo semelhante ao fragmento apresentado no capítulo 5 item 5.5.4. Em destaque aparecem o valor observado, o calculado e a diferença dZ entre eles.

1.17- BGf SGf:

Gera arquivo seqüencial a partir do binário.

Entrada: arquivo de malha .BX# e .BY# onde # representa o interpolador utilizado.

Processamento: forma o arquivo seqüencial a partir do binário.

Saída: arquivo texto seqüencial de mesmo nome porém com extensão iniciada pelo caracter S indicando seqüencial.

1.18- SGf BGf:

Recebe arquivo seqüencial criado ou alterado via editor de textos e converte-o para o formato binário manipulado pelo sistema. O formato do arquivo de entrada é idêntico ao que aparece no capítulo 5 item 5.5.1.

Entrada: arquivo seqüencial com malha.

Processamento: forma o arquivo binário a partir do seqüencial.

Saída: arquivo binário contendo malha.

2- INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE OS ARQUIVOS.

2.1- ARQUIVOS DE PERFIS IRREGULARES .BPI e SPI:

Arquivo Binário .BPI:

Os perfis dentro do arquivo .BPI são organizados em forma de lista duplamente ligada de maneira a permitir que se caminhe por eles nos dois sentidos. Para cada perfil são gravados os campos *Elo*, *DefPerfil* e *Origem* seguidos pela seqüência de campos dC . Os perfis saem na forma de coordenada X ou Y e cota ou seja, X e Cota ou Y e Cota. No disco, primeiro são gravados os perfis paralelos ao eixo X e depois os paralelos a Y. O seqüencial produzido por BPI_SPI reproduz a disposição lógica dos campos dentro do arquivo binário. De forma a facilitar o acesso ao arquivo, os registros são gravados com tamanho uniforme definido pelo tipo U_PERFIL_DISCO. (Algumas linguagens de programação têm dificuldade para manipular arquivos com registros de comprimento variável).

```

#define REAL8 double

typedef struct {
    REAL8 Dist, /* Dist = ao eixo de coordenadas */
           Cota;
} PONTO_PER; /* ponto no perfil */

#define FIM_LISTA -1L /* lista ligada Antes, Prox */

typedef struct {
    long Antes, /* endereco no disco (byte) */
         Prox; /* Lista duplamente ligada. */
} ELO_PERFIL; /* FIM_LISTA ou endereco */

typedef union { /* união p/ forçar registros de 16 bytes */
    ELO_PERFIL Elo; /* endereços em disco (byte) */
    struct {
        int n; /* número de elementos */
        int Direcao; /* X ou Y */
    } DefPerfil;
    struct {
        REAL8 XO,YO; /* Origem do perfil */
    } Origem;
    PONTO_PER dC; /* p/ seqüência de pontos */
} U_PERFIL_DISCO; /* Em disco 16 bytes reg */

```

Figura 4: "layout" em linguagem C dos registros de perfis irregulares contidos nos arquivos .BPI..

Fragmento de um arquivo .SPI:

-1	384			Campo <i>Elo</i> do primeiro Perfil.
21	X			Campo <i>DefPerfil</i> direção X.
		0.000	8173700.000	Campo <i>Origem Y</i>
		673529.424	1020.000	Campos <i>dC</i>
		673684.819	1025.000	
		674026.761	1025.000	
		.	.	
		.	.	
		.	.	
18		676694.079	907.172	
19		677470.300	910.000	
20		677711.101	920.000	21º ponto <i>dC</i> do 1º perfil.
	0	768		Campo <i>Elo</i> do segundo Perfil.
21	X			
		0.000	8173600.000	
		673417.238	1010.000	
		673642.618	1020.000	
		.	.	
		.	.	
		.	.	
19		677622.592	920.000	
20		677836.439	930.000	
384	1200			Início de novo perfil.

24	X	0.000	8173500.000	
0		673434.009	1000.000	
1		673588.698	1010.000	
.		.	.	
.		.	.	
22		677645.480	920.000	
23		677810.066	930.000	
36688		37568		Campo <i>Elo</i> .
26	Y	677600.000	0.000	Campo <i>DefPerfil</i> direção Y.
0		8169594.362	900.000	Origem X.
1		8169886.072	890.000	
.		.	.	
.		.	.	
24		8173261.518	920.000	
25		8173818.268	910.000	
37104		-1		Campo <i>Elo</i> indica FIM_LISTA.
27	Y	677700.000	0.000	
0		8169403.286	900.000	
1		8169445.550	900.000	
.		.	.	
.		.	.	
25		8173430.845	920.000	
26		8173691.461	920.000	

Figura 5: Exemplo de arquivo sequencial .SPI gerado a partir de arquivo binário .BPI.

2.2- ARQUIVO DE PONTOS COTADOS .BPC e .SPC:

Arquivo Binário .BPC:

O arquivo Binário de Pontos Cotados .BPC compõe-se de um conjunto de registro do tipo PONTO3D armazenados seqüencialmente.

```
#define REAL8 double
typedef struct {
    REAL8 x,y,z; /* abscissa, ordenada, cota */
} PONTO3D;
```

Figura 6: Formato dos registros de pontos cotados, codificado em linguagem C, contidos em arquivos .BPC.

Arquivo Seqüencial .SPC:

O seqüencial gerado a partir do binário por BPC_SPC segue a mesma formatação dos arquivos .TXT já descritos no capítulo 5 item 5.3.1. O fragmento a seguir ilustra.

```

<< CartoCad - Versao 2.00 - Arquivo: teste3.BPC
<< Data: 07/02/92 - Hora: 12:00 - Bytes: 000000
D000101PontosCotados
Z0001006006000
1 673827.348173634.661025.0001
1 673827.348173634.661025.0001
Z0001006006000
1 673713.358173338.391022.0001
1 673713.358173338.391022.0001
Z0001006006000
1 673861.978173006.021022.0001
1 673861.978173006.021022.0001

```

Figura 7: Exemplo de arquivo sequencial de pontos cotados .SPC produzido a partir de arquivo binário .BPC.

2.3- ARQUIVO DE BREAK LINES .BBL e .SBL :

Arquivo Binário .BBL:

No arquivo .BBL (Binário de Break Line) as feições, representando as descontinuidades do terreno, organizam-se na forma de lista duplamente ligada. Para cada uma delas há um registro cabeçalho, tipo INICIO_POLI3D, vindo a seguir os pontos componentes da feição, que têm o tipo PONTO3D. De maneira a facilitar o acesso ao arquivo, os registros são gravados com tamanho uniforme definido pelo tipo U_POLI3D_DISCO. Dentro da lista ligada, os campos *RegAnt* e *ProxReg* representam número lógico de registro e não posição física em disco.

```

#define LAMBDA (-1)          /* Terminal de lista encadeada */

typedef struct {            /* no disco lista duplamente ligada */
    char TipoReg;          /* registro tipo B = break line */
    int Nivel;             /* nível da break line 0..1023 */
    int n;                 /* número de pontos na break line */
    int RegAnt;           /* indice aponta a break ou LAMBDA */
    int ProxReg;          /* indice aponta a break ou LAMBDA */
} INICIO_POLI3D;

typedef union {             /* p/ forçar registros de tamanhos iguais */
    INICIO_POLI3D InicPoli; /* Registro tipo B */
    PONTO3D Pto;           /* coord x, y, z metros */
} U_POLI3D_DISCO;          /* p/ arquivo binário BBL */

#define PosicionaBBL(i) ((long)(i) * (long)sizeof(U_POLI3D_DISCO))

```

Figura 8: "layout" codificado em linguagem C, dos registros contidos nos arquivos binário de "break line" .BBL.

Arquivo Seqüencial .SBL: o seqüencial, gerado por BBL_SBL, está em formato .TXT.

```
<< CartoCad - Versao 2.00 - Arquivo: TESTE3.BBL
<< Data: 07/02/92 - Hora: 12:00 - Bytes: 000000
D0778BreakLines_
P077801_ 12 -1 13          <= 12 pontos, LAMBDA, ProxReg.
1 673827.348173634.661025.0001  <= 1 10x 10y 7z 2t
1 673713.358173338.391022.0001
1 673861.978173006.021022.0001
1 674012.858172575.681022.0001
1 674099.628172232.731025.0001
1 674044.618171886.451027.0001
1 674203.498171387.731026.0001
1 674220.298170760.561025.0001
1 674003.808170249.451015.0001
1 673959.798169959.851007.0001
1 673637.558169806.091005.0001
1 673538.768169352.53 995.0001
D0777BreakLines_          <= Nível 0777
P077701_ 8 0 22          <= 2º feiçãO 8 pontos
1 673612.708172637.04 990.0001
1 673579.548172576.58 980.0001
1 673511.118172482.00 970.0001
1 673451.478172446.63 960.0001
1 673466.288172418.25 960.0001
1 673540.588172420.94 970.0001
1 673704.458172375.51 980.0001
1 673747.598172352.68 990.0001
. . . .
. . . .
. . . .
P077701_ 3 80 -1          <= Última feiçãO: LAMBDA.
1 677616.908172101.44 905.0001
1 677777.478171871.40 905.0001
1 677959.038171630.68 905.0001
```

Figura 9: Exemplo de arquivo seqüencial de "break lines" .SBL, produzido a partir de arquivo binário .BBL.

2.4- ARQUIVO DE PERFIS REGULARES .BP# e SP#:

Arquivo Binário .BP#:

Tal como nos perfis irregulares, os regulares são organizados em forma de lista duplamente ligada. Para cada perfil há um conjunto de 5 registros tipo U_PERFIL_REGULAR_DISCO, seguidos pela seqüência de cotas do perfil. Logicamente, cada perfil pode ser visto como segue:

```

Elo.Antes  Elo.Prox
n Direção  Interpolador
EO
NO
Passo
Cota
Cota
.
.
Cota

```

Figura 10: Sequencia lógica das informações contidas nos arquivos binário de perfis regulares interpolados .BP#.

```

enum FUNCAO { LINEAR = 0, SPLINE1 = 1, SPLINE2 = 2, HERMITE = 3,
              MEDIA = 4 };

/* union p/ forçar alinhamento e registros iguais */
typedef union {
    ELO_PERFIL Elo; /* enderecos em disco (byte) */
    struct {
        int n, /* n = Número de cotas.*/
            Direcao; /* 'Y' 'X' // eixo X */
        enum FUNCAO Interpolador;
    } DefPerfil;
    REAL8 EO; /* origem do perfil */
    REAL8 NO;
    REAL8 Passo; /* Intervalo entre pontos */
    REAL8 Cota; /* n cotas */
} U_PERFIL_REGULAR_DISCO; /* 8 bytes p/ registro */

```

Figura 11: "layout" codificado em linguagem C, dos registros contidos nos arquivos binário de perfis regulares .BP#.

Arquivo Seqüencial .SP#: o seqüencial é uma imagem do binário a exceção da numeração dos pontos dentro do perfil.

	-1	376	Campos <i>Elo.Antes</i> e <i>Elo.Prox</i> .
42	X	3	<i>n Direção</i> e <i>Interpolador</i> .
		673600.000	Coordenada <i>EO</i> de origem.
		8173700.000	Coordenada <i>NO</i> de origem.
		100.000	<i>Passo</i> .
	0	1022.658	Ordem e <i>Cota</i> do ponto.
	1	1025.146	
	.	.	
	.	.	
40		914.588	
41		919.525	
	0	752	Início do 2° perfil.
42	X	3	
		673600.000	

```

      8173600.000
      100.000
0      1018.318
1      1022.152
.
.
40     918.708
41     923.783

```

```

31144      31912      Penúltimo Perfil.
43 Y 3
      677600.000
      8169500.000
      100.000
0      900.000
1      899.804
2      895.824
.
.
41     913.331
42     911.900

```

```

31528      -1      Último perfil FIM-LISTA.
43 Y 3
      677700.000
      8169500.000
      100.000
0      898.160
1      894.341
.
.
41     920.000
42     920.000

```

Figura 12: Exemplo de arquivo sequencial com perfis regulares .SP#, produzido a partir de arquivo binário .BP#.

2.5- ARQUIVOS DE MALHAS .BX# .BY# :

Arquivos Binário .BX# .BY# :

Os arquivos binário de malha são compostos de um conjunto de quatro registros iniciais, tipo U_GRID_DISCO, definindo a dimensão e interpolador, a origem e o espaçamento. Seguindo este conjunto são gravados objetos tipo PERFIL_REGULAR. As malhas estarão sempre normalizados para a forma lexicográfica (por linhas, na direção X e de cima para baixo).

```

enum FUNCAO { LINEAR = 0, SPLINE1 = 1, SPLINE2 = 2, HERMITE = 3,
              MEDIA = 4 };

typedef union {
    struct {
        int          Lin, Col; /* Num. linhas colunas */
        enum FUNCAO Interpolador; /* LINEAR...*/
    } DefDTM;
    REAL8 EO; /* Origem canto superior esq */
    REAL8 NO; /* (noroeste) */
    REAL8 Passo; /* intervalo entre pontos */
} U_GRID_DISCO; /* 8 bytes por reg. no disco. */

```

Figura 13: "layout" codificado em linguagem C, dos registros contidos nos arquivos binário .BG#, contendo malhas DTM.

```

Lin Col
Interpolador
EO
NO
Passo
1° Perfil
2° Perfil
:
:
Lin° Perfil

```

Figura 14: Sequencia lógica das informações contidas nos arquivos binário .BG#.

EM BRANCO

```

/*Codigo para compilador Turbo C versao 2.0 e Placa grafica CGA */
/* Para o turbo C TCC 3splines.c GRAPHICS.LIB */
/* Para MSC CL /AL /W3 /DDEPURA 3splines.c */
/* Com este programa foram criadas as figuras do capitulo 3. */

#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <stdarg.h>
#include <math.h> /* Importa fabs() */

#ifdef __TURBOC__
#include <graphics.h>
#else
#include <graph.h>
#define clrscr() _clearscreen(_GCLEARSCREEN)
#endif

#define MAX_REF 30 /* maximo de pontos de controle */
#define SEGMENTOS 5
#define FIM -9999999.99

#define VERDE 1
#define VERMELHO 2
#define AZUL 3

#ifdef DEPURA
char *BGI = NULL; /* variavel global apontado environment DOS */
#define CONECTAPLACA() { int d = DETECT, m = CGACO; detectgraph(&d,&m); \
initgraph(&d,&m, BGI); textmode(C80); }
#define DESCONECTAPLACA() closegraph()
#define GRAFICO() setgraphmode(CGACO)
#define LIMPAGRAFICO() cleardevice()
#define COR(c) setcolor((c))
#define TEXTO() restorecrtmode()
#define LINHA(x1,y1, x2,y2, Cor) \
line((int)((x1 - xi) * EscX),(int)((yf - y1) * EscY), \
(int)((x2 - xi) * EscX),(int)((yf - y2) * EscY))
#else
#define CONECTAPLACA()
#define DESCONECTAPLACA()
#define GRAFICO()
#define LIMPAGRAFICO()
#define COR(c)
#define TEXTO()
#define LINHA(x1,y1, x2,y2, Cor) \
printf("\n%.2f %.2f %.2f %.2f %6d", \
(x1 - xi) * EscX,(yf - y1) * EscY,(x2 - xi) * EscX,(yf - y2) * EscY,Cor)
#endif

typedef void (*APONTADOR_DE_FUNCAO)(int Segmentos, int Cor,...);
#define ApontaFuncao (*ApontadorDeFuncao)

void main(void);
void Spline3Natural(int Segmentos, int Cor,...);
void AmmerraalBspline(int Segmentos, int Cor,...);
void Spline3Hermite(int Segmentos, int Cor,...);

```

```

/*----- jm 24/04/91 ---*/
void main(void)
{
    APONTADOR_DE_FUNCAO ApontadorDeFuncao;
    int i;
    static char *Opcoes[] = { "\n\n\t\t\t<ESC> Termino.\n",
                              "\t\t\t1- Spline Cubico Natural\n",
                              "\t\t\t2- B-Spline\n",
                              "\t\t\t3- Spline Cubico Hermite\n",
                              "\t\t\tEscolha ? ",
                              NULL };

#ifdef DEPURA
    clrscr();
    if ((BGI = getenv("BGI")) == NULL) {
        printf("\nIndique o diretorio dos drivers .BGI criando variavel DOS\n");
        printf("\nSET BGI = \\TURBOC");
        exit(0);
    } /* if */
#endif

    CONECTAPLACA();

    for (;;) {
        TEXTO();
        clrscr();
        for (i = 0; Opcoes[i]; i++)
            printf(Opcoes[i]); /* for i */

        if ((i = getch()) == 0x1B) break; /* if */

        switch(i) { /* carrega apontador de funcao */
            default : continue;
            case '1': ApontadorDeFuncao = Spline3Natural;
                     break; /* '1' */
            case '2': ApontadorDeFuncao = AmmeraalBspline;
                     break; /* '2' */
            case '3': ApontadorDeFuncao = Spline3Hermite;
                     break; /* '3' */
        } /* switch */

        GRAFICO();
        LIMPAGRAFICO();
        (*ApontadorDeFuncao)(SEGMENTOS,AZUL, 1.0,2.0, 1.0,2.0, 2.0,1.5, 4.0,1.25,
                             5.0,1.2, 8.0,1.125, 10.0,1.1, 10.0,1.1, FIM,FIM);

        getch();

        LIMPAGRAFICO();
        ApontaFuncao(SEGMENTOS,AZUL, 1.0,2.0, 1.5,1.6667, 2.0,1.5, 4.0,1.25,
                     5.0,1.2, 8.0,1.125, 10.0,1.1, FIM,FIM);

        getch();

        LIMPAGRAFICO();
        ApontaFuncao(SEGMENTOS,AZUL, 0.5,20.0, 5.5,30.0, 9.0,40.0, 14.0,50.0,
                     18.0,60.0, 20.5,70.0, 24.0,70.0, 37.5,70.0,
                     40.5,70.0, 44.0,70.0, 45.0,70.0, 45.5,60.0,
                     46.0,50.0, 46.5,40.0, 47.0,30.0, 63.5,20.0,
                     67.5,10.0, 72.0,10.0, 77.5,20.0, 82.5,30.0,
                     85.0,40.0, 96.5,50.0, 100.5,60.0, 112.0,70.0,
                     FIM, FIM);

        getch();
    }
}

```

```

LIMPAGRAFICO();
AponaFuncao(SEGMENTOS,AZUL, -9.4245,0.0, -9.4245,0.0, -6.2830,0.0,
            -3.1415,0.0, 0.0, 1.0, 3.1415,0.0, 6.2830,0.0,
            9.4245,0.0, 9.4245,0.0, FIM, FIM); /* sin(x)/x */
getch();

LIMPAGRAFICO();
AponaFuncao(SEGMENTOS,AZUL, -250.0,0.0, -220.0,200.0, -180.0,-200.0,
            -140.0,60.0, -100.0,-30.0, -70.0,-10.0, -20.0,208.0,
            60.0,-130.0, 100.0,125.0, 125.0,185.0, 140.0,160.0,
            170.0,-200.0, 190.0,-60.0, 220.0,20.0, FIM,FIM);
getch();

LIMPAGRAFICO(); /* nos repetidos */
AponaFuncao(SEGMENTOS,AZUL, -250.0,0.0, -220.0,200.0, -180.0,-200.0,
            -180.0,-200.0, -140.0,60.0, -100.0,-30.0, -70.0,-10.0,
            -20.0,208.0, -20.0,208.0, 60.0,-130.0, 60.0,-130.0,
            100.0,125.0, 125.0,185.0, 125.0,185.0, 140.0,160.0,
            170.0,-200.0, 190.0,-60.0, 220.0,20.0, FIM,FIM);
getch();

if (AponadorDeFuncao == AmmeraalBspline) {
    LIMPAGRAFICO();
    AmmeraalBspline(SEGMENTOS,AZUL, -250.0,0.0, -220.0,200.0, -180.0,-200.0,
                    -250.0,0.0, FIM, FIM); /* contorno fechado */
    getch();

    LIMPAGRAFICO();
    AmmeraalBspline(SEGMENTOS,AZUL, -250.0,0.0, -220.0,200.0, -220.0,200.0,
                    -180.0,-200.0, -180.0,-200.0, -250.0,0.0, FIM, FIM);
    getch();
} /* if */
} /* for ;; */

DESCONECTAPLACA();
TEXTO();
} /* main */
/*-----*/

/*===== Spline3Natural =====*/
/*----- jm 24/04/91 ---*/
/* Adaptado de: Moritz, Helmut. Approximation Methods in Geodesy */
/* Generalizado p/ pontos desigualmente espaçados. Spline Natural */
/* Nos repetidos forcam a curva a se aproximar do vertice. */
double Xref[(MAX_REF + 2)],
        Yref[(MAX_REF + 2)];

double u[MAX_REF], /* elementos simetricos */
        d[MAX_REF], /* elementos da diagonal */
        w[MAX_REF], /* termo independente */
        p[MAX_REF]; /* p = segundas derivadas */

/*----- JM 23/11/91 ---*/
void CoefSpline3Natural(int n) /* numero de pontos de controle */
{
    extern double d[MAX_REF];
    extern double u[MAX_REF];
    extern double w[MAX_REF];

```

```

extern double p[MAX_REF];          /* p = segundas derivadas */
int i;

for (i = 1; i < n - 1; i++)
    d[i] = (Xref[i + 1] - Xref[i - 1]) * 2.0; /* for */

for (i = 0; i < n - 1; i++)
    if ( (u[i] = Xref[i + 1] - Xref[i]) == 0.0)
        u[i] = 0.0001; /* for */          /* no multiplo */

for (i = 1; i < n - 1; i++)
    w[i] = ((Yref[i + 1] - Yref[i]) / u[i] - (Yref[i] - Yref[i - 1]) /
            u[i - 1]) * 6.0; /* for */

/*:::*/
#ifdef DEPURA
printf("\n");    for(i = 0; i < n; i++) printf("d%d %7.3f ",i,d[i]);
printf("\n");    for(i = 0; i < n; i++) printf("u%d %7.3f ",i,u[i]);
printf("\n");    for(i = 0; i < n; i++) printf("w%d %7.3f ",i,w[i]);
#endif
/*:::*/

p[0] = p[n - 1] = 0.0;          /* p[0] = p[n-1] = 0.0 spline natural */
/* solucao do sistema p/ p[1]..p[n-2] */

for (i = 1; i < n - 2; i++) {
    w[i + 1] = w[i + 1] - w[i] * u[i] / d[i];
    d[i + 1] = d[i + 1] - u[i] * u[i] / d[i];
} /* for */

for (i = n - 2; i > 0; i--)
    p[i] = (w[i] - u[i] * p[i + 1]) / d[i]; /* for */

/*:::*/
#ifdef DEPURA
printf("\n");
printf("\n");    for(i = 0; i < n; i++) printf("d%d %7.3f ",i,d[i]);
printf("\n");    for(i = 0; i < n; i++) printf("w%d %7.3f ",i,w[i]);
printf("\n");    for(i = 0; i < n; i++) printf("p%d %7.5f ",i,p[i]);
getch();
#endif
/*:::*/
} /* CoefSpline3Natural */
/*-----*/
/*----- JM 24/04/91 ----*/
double Avalie(double v)
{
extern double u[MAX_REF];
extern double p[MAX_REF];          /* p = segundas derivadas */
extern double Xref[(MAX_REF + 2)];
extern double Yref[(MAX_REF + 2)];

int i;
double r, t;

#define f(x) ((x) * (x) * (x) - (x))

i = 0;
do {

```

```

    i++;
} while (v > Xref[i + 1]);          /* x[i] <= v < x[i+1] */

t = (v - Xref[i]) / u[i];
r = (fit) * p[i + 1] + f(1.0 - t) * p[i];
return(r / 6.0 * u[i] * u[i] + t * Yref[i + 1] + (1.0 - t) * Yref[i]);
} /* Avalie */
/*-----*/

/*----- JM 23/11/91 ----*/
/* Adaptado de: Moritz, Helmut. Approximation Methods in Geodesy      */
/* Generalizado p/ pontos desigualmente espaçados.Spline Natural    */
/* Nos repetidos forcam a curva a se aproximar do vertice.          */
void Spline3Natural(int Segmentos, int Cor,...)
{
    extern double Xref[(MAX_REF + 2)],
                 Yref[(MAX_REF + 2)];
    va_list Coord;
    double xi, yi, xf, yf, EscX, EscY; /* desenho video */
    int n, i = 0, PrimVez = 1;
    double *b, *c, u, du, x, y, Xant, Yant;

    va_start(Coord, Cor);

    while (((Xref[i] = va_arg(Coord,double)) > FIM) &&
           ((Yref[i] = va_arg(Coord,double)) > FIM) && (i <= MAX_REF))
        i++; /* while */

    va_end(Coord);
    n = i;

#ifdef DEPURA
    clrscr();
    printf("\ns %4d c%4d n%4d",Segmentos,Cor,n);
    printf("\n\n");
#endif

    xi = xf = Xref[0];
    yi = yf = Yref[0];

    for (i = 1; i < n; i++) {
        xi = min(xi,Xref[i]);
        xf = max(xf,Xref[i]);
        yi = min(yi,Yref[i]);
        yf = max(yf,Yref[i]);
    } /* for */

    yf += (yf - yi) / 20.0; /* folga p/ caber oscilacoes do spline */
    yi -= (yf - yi) / 5.0;

    EscX = 319.0 / ((xf - xi) * 1.2);
    EscY = 199.0 / ((yf - yi) * 1.2);

#ifdef DEPURA
    TEXTO();
    printf("\n\n%4d xi %7.2f yi %7.2f xf %7.2f yf %7.2f ",
           n,xi,yi,xf,yf);
    printf("\n\n");
#endif
}

```

```

    getch();
    GRAFICO();
#endif

COR(VERDE);
for (i = 0; i < n - 1; i++)
    LINHA(Xref[i],Yref[i],Xref[i + 1],Yref[i + 1],
        Cor);

/* aproximacao pelo spline */
COR(Cor);
Xant = Xref[0];
Yant = Yref[0];

#ifdef DEPURA
for (i = 0; i < n; i++)
printf("\n%4d] %7.3f %7.3f",i,Xref[i],Yref[i]);
getch();
#endif

CoefSpline3Natural(n);

c = (b = &Xref[1]) + 1;
for (i = 1; i < n - 1; b++, c++, i++) {
    du = (*c - *b) / (double)Segmentos;
    for (u = 0.0; u < (*c - *b); u += du) {
        x = *b + u;
        y = Avalie(x);

        if (PrimVez)
            PrimVez = 0;
        else LINHA(Xant, Yant, x, y, Cor); /* if */
    }
}

#ifdef DEPURA
printf("\n%8.2f %8.2f %8.2f %8.2f %3d", Xant, Yant, x, y, Cor);
getch();
#endif

    Xant = x;
    Yant = y;
} /* for u */
} /* for i */

#ifdef DEPURA
    getch();
    TEXTO();
#endif
} /* Spline3Natural */
/*-----*/

/*===== AmmeraalBspline =====*/
/*----- JM 23/11/91 -----*/
/* Ammeraal,Leendert. Computacao Grafica IBM-PC. Ed Atlas 1988 */
/* Aproximacao por Bspline influenciado apenas por 4 pontos. */
/* Parametrizado: x(t) e y(t). Aceita curvas fechadas e nos repetidos.*/
/* Nos repetidos forcam a curva a se aproximar do vertice. */
void AmmeraalBspline(int Segmentos, int Cor,...)
{
    #define CoeficientesAmmeraal() { \

```

```

a3 = ((*b - *c) * 3.0 - *a + *d) / 6.0; \
a2 = (*a + *c) / 2.0 - *b; \
a1 = (*c - *a) / 2.0; \
a0 = (*b * 4.0 + *a + *c) / 6.0; \
b3 = ((*B - *C) * 3.0 - *A + *D) / 6.0; \
b2 = (*A + *C) / 2.0 - *B; \
b1 = (*C - *A) / 2.0; \
b0 = (*B * 4.0 + *A + *C) / 6.0; }

va_list Coord;
double xi, yi, xf, yf, EscX, EscY; /* p/ desenho em video */
double Xref[(MAX_REF + 2)], Yref[(MAX_REF + 2)];
double *a, *b, *c, *d,
        *A, *B, *C, *D;
int i = 1, j, n, PrimVez = 1;
double a0, a1, a2, a3;
double b0, b1, b2, b3, u, du, x, y, Xant, Yant;

va_start(Coord, Cor);

while (((Xref[i] = va_arg(Coord,double)) > FIM) &&
        ((Yref[i] = va_arg(Coord,double)) > FIM) && (i <= MAX_REF))
    i++; /* while */

va_end(Coord);
n = i;

#ifdef DEPURA
clrscr();
printf("\ns %4d c%4d n%4d", Segmentos, Cor, n);
printf("\n\n");
#endif

xi = xf = Xref[0] = Xref[1];
yi = yf = Yref[0] = Yref[1];

for (i = 1; i < n; i++) {
    xi = min(xi, Xref[i]);
    xf = max(xf, Xref[i]);
    yi = min(yi, Yref[i]);
    yf = max(yf, Yref[i]);
#ifdef DEPURA
printf("\n%4d %7.2f %7.2f", i, Xref[i], Yref[i]);
#endif
} /* for */

yf += (yf - yi) / 20.0; /* folga p/ caber oscilacoes do spline */
yi -= (yf - yi) / 5.0;

EscX = 319.0 / ((xf - xi) * 1.2);
EscY = 199.0 / ((yf - yi) * 1.2);

#ifdef DEPURA
TEXT();
printf("\n\n%4d xi %7.2f yi %7.2f xf %7.2f yf %7.2f ",
        n, xi, yi, xf, yf);
printf("\n\n");
getch();
GRAFICO();

```

```

#endif

COR(VERDE);
for (i = 1; i < n - 1; i++)
    LINHA(Xref[i],Yref[i],Xref[i + 1],Yref[i + 1],Cor);

/* aproximacao pelo spline */
COR(Cor);
Xant = Xref[0] = Xref[1];
Yant = Yref[0] = Yref[1];
for (j = n; j <= n + 1; j++) {
    Xref[j] = Xref[j - 1];
    Yref[j] = Yref[j - 1];
} /* for */

d = (c = (b = (a = &Xref[0]) + 1) + 1) + 1;
D = (C = (B = (A = &Yref[0]) + 1) + 1) + 1;
Xant = Xref[1];
Yant = Yref[1];
for (i = 1; i < n; a++, b++, c++, d++, A++, B++, C++, D++, i++) {
    CoeficientesAmmeraal();
    du = 1.0 / (double)Segmentos;
    for (u = 0.0; u < 1.0; u += du) {
        x = (((a3 * u + a2) * u + a1) * u + a0);
        y = (((b3 * u + b2) * u + b1) * u + b0);

        if (PrimVez)
            PrimVez = 0;
        else LINHA(Xant, Yant, x, y, Cor); /* if */
    }
}

#ifdef DEPURA
printf("\n%8.2f %8.2f %8.2f %8.2f %3d", Xant, Yant, x, y, Cor);
getch();
#endif

    Xant = x;
    Yant = y;
} /* for u */
} /* for i */

#ifdef DEPURA
    getch();
    TEXTD();
#endif
} /* AmmeraalBspline */
/*-----*/

/*===== Spline3Hermite =====*/
/*----- JM 23/11/91 ----*/
/* Adaptado de: De Boor, Carl. A practical Guide to Splines. */
/* Spline Cubico de Hermite influenciado apenas por 4 pontos. */
/* Nos repetidos forcam a curva a se aproximar do vertice. */
void Spline3Hermite(int Segmentos, int Cor,...)
{
#define CoeficientesSplineH() { double dtau, divdif1, divdif3; \
    b1 = (*c - *a); \
    b1 = (b1 != 0.0 ? (*C - *A) / b1 : 0.0); \
    b0 = (*d - *b); \
    b0 = (b0 != 0.0 ? (*D - *B) / b0 : 0.0; \
}

```

```

    if ((dtau = *c - *b) != 0.0 ) {
        divdif1 = (*C - *B) / dtau;
        divdif3 = b1 + b0 - 2.0 * divdif1;
        b2 = (divdif1 - b1 - divdif3) / dtau;
        b3 = (divdif3 / dtau) / dtau;
    } else b2 = b3 = 0.0;
    b0 = *B; }

va_list Coord;
double xi, yi, xf, yf, EscX, EscY; /* p/ desenho em video */
double Xref[(MAX_REF + 2)], Yref[(MAX_REF + 2)];
double *a, *b, *c, *d,
        *A, *B, *C, *D;
int i = 1, j, n, PrimVez = 1;
double b0, b1, b2, b3, u, du, x, y, Xant, Yant;

va_start(Coord, Cor);

while (((Xref[i] = va_arg(Coord,double)) > FIM) &&
        ((Yref[i] = va_arg(Coord,double)) > FIM) && (i <= MAX_REF))
    i++; /* while */

va_end(Coord);
n = i;

#ifdef DEPUR
    clrscr();
    printf("\ns %4d c%4d n%4d", Segmentos, Cor, n);
    printf("\n\n");
#endif

xi = xf = Xref[0] = Xref[1];
yi = yf = Yref[0] = Yref[1];

for (i = 1; i < n; i++) {
    xi = min(xi, Xref[i]);
    xf = max(xf, Xref[i]);
    yi = min(yi, Yref[i]);
    yf = max(yf, Yref[i]);
} /* for */

yf += (yf - yi) / 20.0; /* folga p/ caber oscilacoes do spline */
yi -= (yf - yi) / 5.0;

EscX = 319.0 / ((xf - xi) * 1.2);
EscY = 199.0 / ((yf - yi) * 1.2);

#ifdef DEPUR
    TEXTO();
    printf("\n\nn%4d xi %7.2f yi %7.2f xf %7.2f yf %7.2f ",
           n, xi, yi, xf, yf);
    printf("\n\n");
    getch();
    GRAFICO();
#endif

COR(VERDE);
for (i = 1; i < n - 1; i++)
    LINHA(Xref[i], Yref[i], Xref[i + 1], Yref[i + 1], Cor);

```

```

/* aproximacao pelo spline */
COR(Cor);
Xant = Xref[0] = Xref[1];
Yant = Yref[0] = Yref[1];
for (j = n; j <= n + 1; j++) {
    Xref[j] = Xref[j - 1];
    Yref[j] = Yref[j - 1];
} /* for */

d = (c = (b = (a = &Xref[0]) + 1) + 1) + 1;
D = (C = (B = (A = &Yref[0]) + 1) + 1) + 1;
Xant = Xref[1];
Yant = Yref[1];
for (i = 1; i < n; a++, b++, c++, d++, A++, B++, C++, D++, i++) {
    CoeficientesSplineH();
#ifdef DEPURA
printf("\nCoef %15.7f %15.7f %15.7f %15.7f", b0, b1, b2, b3); getch();
#endif
    du = (*c - *b) / (double)Segmentos;
    for (u = 0.0; u < (*c - *b); u += du) {
        x = *b + u;
        y = (((b3 * u + b2) * u + b1) * u + b0); /* Interpola */

        if (PrimVez)
            PrimVez = 0;
        else LINHA(Xant, Yant, x, y, Cor); /* if */

#ifdef DEPURA
printf("\n%8.2f %8.2f %8.2f %8.2f %3d", Xant, Yant, x, y, Cor);
getch();
#endif

        Xant = x;
        Yant = y;
    } /* for u */
} /* for i */

#ifdef DEPURA
getch();
TEXTO();
#endif
} /* Spline3Hermite */
/*-----*/

```

EM BRANCO

```

{ Turbo Pascal versao 5.0                                     jm 24/05/90 }
{ Programa teste p/ o driver MOUSE.COM  MOUSE1.SYS da MICROSOFT }
USES DOS,CRT;
CONST
  ADAPTADO    = 0;
  MOSTRA      = 1;
  ESCONDE     = 2;
  MEDE        = 3;
  FIXAEMXY    = 4;
  FIXAMAXX    = 7;
  FIXAMAXY    = 8;
  FIXAMICKEY  = 15;

{----- JM 24/05/90 }
{           0<=Servico<=15 0<=Tecla<=3 0<=x<=639 0<=y<=199 CGA }
FUNCTION Ratinho(VAR Servico, Tecla, x, y :WORD):WORD;
VAR
  RegPC :REGISTERS;
BEGIN
  RegPC.ax := Servico;
  RegPC.bx := Tecla;
  RegPC.cx := x;
  RegPC.dx := y;

  INTR($33,RegPC);
  Servico := RegPC.ax;
  Tecla   := RegPC.bx;
  x       := RegPC.cx;
  y       := RegPC.dx;
  Ratinho := Servico
END;
{-----}

{-----}
VAR { principal }
  Servico ,
  Tecla,x,y,i:WORD;
  Ch      :CHAR;
BEGIN
  CLRSCR;
  Tecla := 0; x := 0; y := 0;
  Servico := ADAPTADO;
  GOTOXY(10,10);
  WRITE('Ratinho ',Ratinho(Servico,Tecla,x,y):6,
        ' : Pressione <CR> p/ continuar. ');
  Ch := READKEY;

  CLRSCR;
  IF ( INTEGER(Ratinho(Servico,Tecla,x,y)) <> -1)
  THEN BEGIN
    GOTOXY(10,10);
    WRITELN('MOUSE nao conectado ou MOUSE.COM inativo. ');
    Ch := READKEY;
    HALT(1);
  END; { if }

  CLRSCR;
  GOTOXY(1,1); WRITE('!<--- FIM ponha o cursor aqui !');

```

```

Servico := MOSTRA;
i := Ratinho(Servico,Tecla,x,y);
GOTOXY(10,10);
WRITE('Servico ',Servico:3,' Tecla',Tecla:2,' x',x:6,' y',y:6,' <ENTER> ');
Ch := READKEY;

Servico := ESCONDE;
i := Ratinho(Servico,Tecla,x,y);
GOTOXY(10,10);
WRITE('Servico ',Servico:3,' Tecla',Tecla:2,' x',x:6,' y',y:6,' <ENTER> ');
Ch := READKEY;

Servico := MOSTRA;
i := Ratinho(Servico,Tecla,x,y);
GOTOXY(10,10);
WRITE('Servico ',Servico:3,' Tecla',Tecla:2,' x',x:6,' y',y:6,' <ENTER> ');
Ch := READKEY;

REPEAT
  Servico := MEDE;
  i := Ratinho(Servico,Tecla,x,y);
  GOTOXY(10,10);
  WRITE('Servico ',Servico:6,' Tecla',Tecla:2,' x',x:6,' y',y:6);
UNTIL ( (x = y) AND (x = 0));

Servico := ESCONDE;
i := Ratinho(Servico,Tecla,x,y);
GOTOXY(10,10);
WRITE('Servico ',Servico:6,' Tecla',Tecla:2,' x',x:6,' y',y:6);
END. { principal }
{-----}

```

EM BRANCO

```

PROGRAM Vinci;
{ Turbo Pascal 5.0; Teste da mesa digitalizadora VINCI em ASCII }
{ Obs: repositores equipados com "encoders" sao semelhantes. }
{ Setar as chaves "dip switches" da mesa p/ : }
{ ds1 OFF e ds2 OFF Modo Continuo }
{ ds3 OFF e ds4 OFF 50 pares/seg }
{ ds5 OFF e ds6 OFF 9600 bits p/seg. Inicializar a serial do PC igual. }
{ ds7 ON e ds8 OFF ASCII e 0.1 mm }
{ As teclas sao codificadas como 0001 0010 0100 1000 em binario }
{ As teclas retornam os ASCII 1 2 4 8 }
{ 1234567890123 os bytes sab transmitidos continuamente. }
{ XXXX,YYYY,T<cr><lf> mesa Vinci: um registro completo consta de 13 bytes }

USES CRT,DOS;

{#R+ }
CONST
  CsPosTecla:INTEGER=11;
  CsPosCr :INTEGER=12;

{----- JM 09/07/88 ----}
{ Configura Rs232c p/ 9600,n,7,1 p/ ficar na mesma velocidade da mesa. }
PROCEDURE ConfigRs;
VAR
  RegPC : REGISTERS;
BEGIN { ConfigRs }
  RegPC.AX:=$00EA; { AH= 0; AL = configuracao }
  RegPC.DX:=$0000; { 0 = com1: }

  INTR(BYTE($14),RegPC);
  WRITELN('Com1:9600,n,7,1');
END; { ConfigRs }
{-----}

{----- JM 09/07/88 ----}
TYPE
  TyBafer = STRING[100];
  { 123456789012 }
  { XXXX,YYYY,T<cr><lf> mesa Vinci }
PROCEDURE Recebe( PosicaoCR:INTEGER; { numero caracteres ate CR }
  VAR Bafer :TyBafer); { Buffer }
VAR
  j : INTEGER;
  RegPC : REGISTERS;
BEGIN { Recebe }
  Bafer := '';
  REPEAT
    WITH RegPC DO
      BEGIN
        DX := $0000; { 0 = com1: }
        AH := 2; { AH = 2 recebe }
        {writeln(lo(ax));}
        WHILE CHR(LO(AX)) <> #10 DO { espera LF }
          BEGIN
            DX := $0000;
            AH := 2;
            INTR($14,RegPC);
            {writeln(lo(ax));}
          END
        END
      END
  UNTIL PosicaoCR = 0;
END;

```

```

        END; { while }

        j:=0;
        REPEAT
            DX := $0000;
            AH := 2;
            INTR($14,RegPC);
        {writeln(lo(ax));}
            j:=j + 1;
            IF j <= CsPosCr THEN Bafer[j]:=CHR(AL);
            UNTIL CHR(AL) = #13; { repeat }                { ate <CR> }
            Bafer[0]:=CHR(j);                               { tamanho da string }
        END; { with }
        UNTIL j = PosicaoCR; { repeat }                    { repete se perdeu byte }
    END; { Recebe }
    {-----}

    {-----}
VAR
    Bafer:TyBafer;
BEGIN
    ConfigRs;
    REPEAT
        Recebe(CsPosCr,Bafer);
        IF Bafer[CSPosTecla] <> '0' THEN writeln('Bafer= ',Bafer);
        UNTIL Bafer[CSPosTecla] = '2';                    { tecla 2 pressionada }
    END.
    {-----}

```

EM BRANCO

```

PROGRAM VinciBin;
{ Turbo Pascal 5.0; Teste da mesa digitalizadora VINCI em modo Binario }
{ Setar as chaves "dip switches" da mesa p/ : }
{ ds1 OFF e ds2 OFF  Modo Continuo      }
{ ds3 OFF e ds4 OFF  50 pares/seg      }
{ ds5 OFF e ds6 OFF  9600 bits p/seg.  Inicializar a serial do PC igual. }
{ ds7 OFF e ds8 OFF  BINARIO e 0.1 mm  }
{ As teclas sao codificadas como 0001 0010 0100 1000 em binario }
{ No modo binario a mesa envia 5 bytes por registro }
{$R+ }
USES CRT, DOS;

{----- JM 09/07/88 }
{ Configura a Rs232c p/ $EA = 9600,n,7,1 }
PROCEDURE ConfigRs;
VAR
  RegPC:REGISTERS;
BEGIN { ConfigRs }
  RegPC.AX:=$00eA;          { AH = 0;  AL = configuracao }
  RegPC.DX:=$0000;          { 0 = com1: }
  INTR($14,RegPC);
  WRITELN('Com1:9600,n,7,1');
END; { ConfigRs }
{-----}

{----- JM 09/07/88 }
PROCEDURE RecebeBin(VAR Bafer : STRING);          { Buffer }
VAR
  j :INTEGER;
  RegPC:REGISTERS;
BEGIN { Recebe }
  Bafer:= '';

  WITH RegPC DO
  BEGIN
    DX := $0000;          { 0 = com1: }
    AH := 2;             { AH = 2 recebe }
    INTR($14,RegPC);
    WHILE (AX AND $0040) = 0 DO      { espera bit 6 inicio de registro }
    BEGIN
      DX := $0000;
      AH := 2;
      INTR($14,RegPC);
    END; { while }

    j := 1;
    Bafer[j] := CHR(AL);

    REPEAT
      DX := $0000;
      AH := 2;
      INTR($14,RegPC);
      j := j + 1;
      Bafer[j] := CHR(AL);          { assume que cabera no Buffer }
    UNTIL (j >= 5);
    Bafer[0]:=CHR(j);
  END; { with }
  { writeln('j= ',j);}

```

```

{ writeln;}
END; { Recebe }
{-----}

{-----}
VAR
  Bafer      : STRING;
  x, y, Tecla : INTEGER;
  Ch         : CHAR;
  b1, b2     : BYTE;
BEGIN
  ConfigRs;

  CLRSCR;
  { $i+ }
  REPEAT
    RecebeBin(Bafer);
    writeln('Bafer[',LENGTH(Bafer),'] ',Bafer);

    b1 := BYTE(Bafer[2]) AND $2F;
    b2 := BYTE(Bafer[3]) AND $2F;
    x  := (b2 SHL 6) + b1;
    b1 := BYTE(Bafer[4]) AND $2F;
    b2 := BYTE(Bafer[5]) AND $2F;
    y  := (b2 SHL 6) + b1;

    Tecla := 0;
    IF (INTEGER(Bafer[1]) AND $20) <> 0 THEN Tecla := 4;
    IF (INTEGER(Bafer[1]) AND $10) <> 0 THEN Tecla := 3;
    IF (INTEGER(Bafer[1]) AND $08) <> 0 THEN Tecla := 2;
    IF (INTEGER(Bafer[1]) AND $04) <> 0 THEN Tecla := 1;
    WRITELN('x=',x,' y=',y,' Tecla',Tecla);
    Ch := READKEY;
  UNTIL Ch = #27;                                     { tecla <ESC> pressionada }
END.
{-----}

```

EM BRANCO

```

/* Rotina para entrada de dados com recursos de edicao e outros.      */
/* As teclas especiais sao extensao do codigo ASCII compreendendo o  */
/* par '\0' 'Tecla'. F7 sera o par 0 65. Para evitar a ambiguidade  */
/* com a tecla 'A' que tambem retorna 65 adicionaremos 256:        */

#include <string.h>                /* importa strlen() */
#include <stdio.h>                 /* importa printf() */
#include <conio.h>                 /* importa gotoxy() */

#define ESC                27
#define TECLA_ESPECIAL    256

#ifdef __TURBOC__
#define PoeCursor(l,c)      gotoxy((c),(l))
#else
#define PoeCursor(l,c)     _settextposition((l),(c))
#endif

/*----- JM 12/04/91 -----*/
/* Retorna teclas especiais acrescidas de 256 = 0x100. Use Tam >= 2 */
/* Se Tecla < 0 ou >= 256 entao e' especial e vale Tecla &= 0x0100 */
/* Uso: int Ch; char Nome[11]; Resp >= 2 bytes */
/* Ch = LeCadeia("Entre com Nome ",4,2,sizeof(Nome),Nome); */
int LeCadeia(char * Msg,int Lin,int Col,int Tam, char * Resp)
{
    char * p;
    int i;

    Tam -= 1; /* Tam = sizeof(Resp) */
    PoeCursor(Lin,Col);
    printf("%s",Msg);
    Col += strlen(Msg);

    PoeCursor(Lin,Col);
    for (i = 0; i < Tam; i++)
        putchar('_'); /* for */

    PoeCursor(Lin,Col);

    p = Resp;
    for (i = 0; ; ) {
        if ((*Resp = (char) getch()) == (char) ESC) {
            *p = (char) ESC;
            *(p + 1) = '\0';
            return((int)*p);
        } else if (*Resp == '\0') {
            *(p + 1) = '\0';
            *p = (char) getch();
            return( ((int) *p) : TECLA_ESPECIAL);
        } /* if if */

        if (*Resp == '\r') {
            if (Resp == p )
                *(p + 1) = '\0'; /* CR\0 */
            else *Resp = '\0'; /* if */ /* ?.....\0 */
            for ( ; i < Tam; i++)
                putchar(' '); /* limpa o resto do prompt */
            return((int)*p);
        }
    }
}

```

```

} /* if */

if (*Resp == '\b') {
    if (Resp > p) {
        Resp--;
        putchar('\b');
        putchar('_');
        putchar('\b');
        i--;
    } /* if */
} else if ( i < Tam) {
    putchar(*Resp);
    Resp++;
    i++;
} else {
    *Resp = '\0';
    return((int)*p);
} /* if if */
} /* for i */
} /* LeCadeia */
/*-----*/

```

EM BRANCO

```

/* Rotina para recorte de segmentos para janelas em CAD.  jm 12/12/89 */
#define REAL8
    #define REAL8    double
#endif

#define FALSE
    #define FALSE 0
    #define TRUE  (~FALSE)
#endif

#define PI
    #define PI          3.14159265358979323846
#endif

typedef struct {
    REAL8 Emin,Nmin,                /* baixo a esquerda */
           Emax,Nmax;              /* alto a direita */
} JANELAUTM;                       /* sistema terreno */
/*-----*/

#define CENTRO  0x0000
#define ESQ     0x0001
#define DIR     0x0002
#define BASE    0x0004
#define TOPO    0x0008

/*-----jm 12/12/89*/
/* Variavel global p/ ambiente de Recorte.  */
JANELAUTM  *J_ ;                   /* definicao da janela de recorte. Apontador */
/* jm 31/08/90 */

/*-----jm 31/08/90*/
/* Preenche o conjunto de posicoes do ponto em relacao a janela.  */
/* Retorna conjunto vazio se ponto pertence a janela ou seus limites.*/
/* Codifica em relacao janela */
/*          9 ; 8 ; 10 */
/* -----+----- */
/*          1 ; 0 ; 2  */
/* -----+----- */
/*          5 ; 4 ; 6  */
#define Codigo(Cod,X,Y)  Cod = CENTRO; if (X < J_->Emin) Cod = ESQ; \
                          else if ( X > J_->Emax) Cod = DIR;      \
                          if ( Y < J_->Nmin ) Cod != BASE;        \
                          else if (Y > J_->Nmax) Cod != TOPO;

/*-----*/

/*-----JM 12/12/89*/
/*          Rotina substituida por macro Codigo(Cod,X,Y) : jm 31/08/90 */
/* Preenche o conjunto de posicoes do ponto em relacao a janela.  */
/* Retorna conjunto vazio se ponto pertence a janela ou seus limites.*/
int Codifica(REAL8 X,REAL8 Y)      /* ponto a ser codificado */
{ /* Codifica */
    extern JANELAUTM *J_ ;
    int          Codigo; /* em relacao janela */
    Codigo = CENTRO;
    if (X < J_->Emin)
        Codigo = ESQ;

```

```

else if ( X > J_->Emax) Codigo = DIR;

if ( Y < J_->Nmin )
    Codigo := BASE;
else if ( Y > J_->Nmax)
    Codigo := TOPO;
return(Codigo);
} /* Codifica */
/*-----*/

/*-----JM 12/12/89*/
/* Recorta o segmento de maneira a cair dentro dos limites da janela */
void CortePonta(REAL8 Xi,REAL8 Yi,REAL8 Xf,REAL8 Yf,
                REAL8 *X,REAL8 *Y) /* --> resultado do recorte */
{ /* CortePonta */
    extern JANELAUTM *J_ ; /* Global no ambiente Recorte */

    if (*X < J_->Emin) {
        *Y = (Xf != Xi ? (J_->Emin - Xi) * (Yf - Yi) / (Xf - Xi) + Yi : Yi);
        *X = J_->Emin;
    } else if (*X > J_->Emax) {
        *Y = (Xf != Xi ? (J_->Emax - Xi) * (Yf - Yi) / (Xf - Xi) + Yi : Yi);
        *X = J_->Emax;
    } else if (*Y > J_->Nmax) {
        *X = (Yf != Yi ? (Xf - Xi) * (J_->Nmax - Yi) / (Yf - Yi) + Xi
              : Xi);
        *Y = J_->Nmax;
    } else {
        *X = (Yf != Yi ?
              (Xf - Xi) * (J_->Nmin - Yi) / (Yf - Yi) + Xi
              : Xi);
        *Y = J_->Nmin;
    } /* if y > if x > if x < */

    return;
} /* CortePonta */
/*-----*/

/*-----JM 12/12/89*/
/* Dado um segmento de reta e uma janela devolve as coordenadas da */
/* parte do segmento contida na janela ou retorna o segmento intacto */
/* se fora e FALSE nesse caso. Recorta se segmento tocar a janela. */
int Recorte(JANELAUTM *J, REAL8 *Xi, REAL8 *Yi, REAL8 *Xf, REAL8 *Yf)
{ /* Recorte */ /* Obs: recorte sempre o segmento original */
    extern JANELAUTM *J_ ; /* global no ambiente Recorte */
    int C1,C2; /* codificacao posicao */

    J_ = J; /* copia apontador p/ global de Recorte jm 31/08/90 */

    Codigo(C1,*Xi,*Yi); /* jm 31/08/90 */
    Codigo(C2,*Xf,*Yf);
    while ((C1 != CENTRO) && ((C1 & C2) == CENTRO)) {
        CortePonta(*Xi,*Yi,*Xf,*Yf,Xi,Yi);
        Codigo(C1,*Xi,*Yi);
    } /* while */

    if (C1 != CENTRO) return(FALSE);

    while (C2 != CENTRO) {
        CortePonta(*Xi,*Yi,*Xf,*Yf,Xf,Yf);
    }
}

```

```
   Codigo(C2,*Xf,*Yf);  
} /* while */  
return(TRUE);  
} /* Recorte */  
/*-----*/
```

EM BRANCO

```

(*%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%*)
{ Programa para orientacao de periferico tipo mesa digitalizadora.      }
{ Utiliza a transformacao AFIM no plano.                                }
{$N+ }                                                                    { p/ uso de coprocessador }
{$E+ }                                                                    { p/ emular coprocessador }

USES DOS,CRT;
{$IFDEF REAL8__ }                                                         { Permite escolher o tipo de real }
  {$DEFINE REAL8__}
  TYPE REAL8 = DOUBLE;
{$ENDIF}

procedure pausa;
begin
  readln;
end;

{%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% jm 27/10/88 %%%%%%%%%}
{ Constantes e Tipos exportados pelo ambiente da Calibracao }
CONST
  CsMaxRef2D = 32;                                                         { Numero maximo de pontos de referencia }
TYPE
  TyVetRef2D=ARRAY[1.. CsMaxRef2D] OF REAL8;   { vetor de coordenadas }

  TyPontosRef2D=RECORD                                                    { referencias p/ calibracao }
    TotalPontos:INTEGER;
    xm,ym,                                                                    { coordenadas de maquina Lb }
    xc,yc      :TyVetRef2D  { coordenadas de calibracao }
  END;
    { XSistM := a1 * XSistC + a2 * YSistC + a0 }
    { YSistM := b1 * XSistC + b2 * YSistC + b0 }

  TyAfim = RECORD
    a0, a1, a2,
    b0, b1, b2 : REAL8                                                    { Coeficientes transf. afim }
  END;

{----- JM 27/10/88 }
{ Dados das marcas fiduciais para a calibracao do "Scanner"           }
PROCEDURE DadosAfim(VAR PontosRef2D : TyPontosRef2D);
BEGIN { DadosAfim }
  WITH PontosRef2D DO                                                    { Leituras no "Scanner" }
  BEGIN
    TotalPontos:=4;
    xm[1]:= 573.2; xm[2]:= 6.3; xm[3]:= 571.2; xm[4]:=1137.6;
    ym[1]:=1141.6; ym[2]:= 578.6; ym[3]:= 13.3; ym[4]:= 575.6;
    { Certificado de calibracao }
    xc[1]:= 0.0; xc[2]:= -113.05; xc[3]:= 0.0; xc[4]:=113.05;
    yc[1]:= -113.06; yc[2]:= 0.0; yc[3]:=113.06; yc[4]:= 0.0
  END { with }
END; { DadosAfim }
{-----}

{----- JM 27/10/88 }
{ Calcula e retorna coeficientes p/ transformacao SistMaq / SistCalib. }
{ restricao: os pontos nao podem estar alinhados. }
{ SistMaq = sistema de Maquina. SistCalib = sistema de Calibracao. }
(* massa de teste

```

*** SISTEMA-1 MAQUINA ***	*** SISTEMA-2 CALIBRACAO ***
1 -115.1106 3.1138	1 -113.0010 0.0070
2 -3.5280 -111.3446	2 -0.0100 -112.9910
3 110.9322 0.2196	3 112.9890 0.0110
4 -0.6336 114.6614	4 -0.0050 113.0100

Transformacao:

-2.0783667	1.0002334	0.0127849
1.6532132	-0.0128245	1.0000224

53.2385	26.5320	{ maquina }
54.9770	25.5833	{ calibracao }

*)

{----- JM 27/10/88 }

```
PROCEDURE CalibraF2D(VAR PontosRef2D:TyPontosRef2D;
                    VAR Afim      :TyAfim;           { retorna }
                    VAR emq       :REAL8;           { retorna }
                    VAR Confirmou  :BOOLEAN);
```

{-----}

{ Calcula erro medio quadratico da observacao isolada. }

```
PROCEDURE VetorV(VAR PontosRef2D:TyPontosRef2D;
                 VAR Afim      :TyAfim;           { entram }
                 VAR emq       :REAL8);           { retorna }
```

```
VAR { VetorV }
    k      : INTEGER;
    v, vv  : REAL8;
    { v = F(Xa) - Lb }
```

```
BEGIN { VetorV }
    vv := 0.0;
    WITH Afim,PontosRef2D DO
        FOR k:=1 TO TotalPontos DO
            BEGIN
                v := a1 * xc[k] + a2 * yc[k] + a0 - xm[k];
                vv := v * v + vv;
                v := b1 * xc[k] + b2 * yc[k] + b0 - ym[k];
                vv := v * v + vv;
            END; { for with }
        END; { for with }
```

```
    emq := SQRT(vv / (PontosRef2D.TotalPontos - 1)) { obs. isolada }
END; { VetorV }
```

{-----}

```
VAR { Calibrar }
    mediaXc,mediaYc:REAL8;           { coordenadas medias SistMq }
    mediaXm,mediaYm:REAL8;           { coordenadas medias SistCalib }
    dXc,dYc,dXm,dYm:REAL8;           { diferencas observado - medias }
    sXc,sYc      :REAL8;           { somatorio }
    sXm,sYm      :REAL8;           { somatorio }
    sqXc,sqYc    :REAL8;           { somatorio quadrados }
    spXcYc       :REAL8;           { somatorio do produto cruzado }
    spXcXm,spYcYm :REAL8;           { somatorio produto SistMq SistCalib }
    spXcYm,spYcXm :REAL8;
    divisor      :REAL8;           { auxiliar de calculo }

    i            :INTEGER;           { indexador dos vetores }
```

```
BEGIN { Calibrar }
    WITH PontosRef2D,Afim DO
        BEGIN
```

```

a1:=1.0;   a2:=0.0;   a0:=0.0;
b1:=0.0;   b2:=1.0;   b0:=0.0;
emq:=9.e9;

```

```

Confirmou:=(TotalPontos >= 3) AND (TotalPontos <= CsMaxRef2D);
IF Confirmou

```

```

THEN BEGIN

```

```

  mediaXc:=0.0;      mediaYc:=0.0;
  mediaXm:=0.0;      mediaYm:=0.0;

```

```

  FOR i:=1 TO TotalPontos DO

```

```

    BEGIN

```

```

      {
        writeln('Xc[' ,i, ']',Xc[i]:15:2, ' Xc[' ,i, ']',Xm[i]:15:4);
        writeln('Yc[' ,i, ']',Yc[i]:15:2, ' Ym[' ,i, ']',Ym[i]:15:4);
        writeln;
      }

```

```

    }

```

```

    mediaXm:=Xm[i] + mediaXm;      mediaYm:=Ym[i] + mediaYm;
    mediaXc:=Xc[i] + mediaXc;      mediaYc:=Yc[i] + mediaYc

```

```

  END; { for }

```

```

  mediaXm:=mediaXm / TotalPontos;      mediaYm:=mediaYm / TotalPontos;
  mediaXc:=mediaXc / TotalPontos;      mediaYc:=mediaYc / TotalPontos;

```

```

  sXc:=0.0;      sYc:=0.0;      sXm:=0.0;      sYm:=0.0;
  spXcYc:=0.0;  spXcXm:=0.0;  spYcYm:=0.0;  spXcYm:=0.0;  spYcXm:=0.0;
  sqXc:=0.0;      sqYc:=0.0;

```

```

  FOR i:=1 TO TotalPontos DO

```

```

    { Nova origem na media }

```

```

    BEGIN

```

```

      dXc:=Xc[i] - mediaXc;      sXc:=sXc + dXc;      sqXc:=dXc * dXc + sqXc;
      dYc:=Yc[i] - mediaYc;      sYc:=sYc + dYc;      sqYc:=dYc * dYc + sqYc;

```

```

      dXm:=Xm[i] - mediaXm;      sXm:=sXm + dXm;
      dYm:=Ym[i] - mediaYm;      sYm:=sYm + dYm;

```

```

    { soma produtos cruzados }

```

```

      spXcYc:=dXc * dYc + spXcYc;
      spXcXm:=dXc * dXm + spXcXm;
      spYcYm:=dYc * dYm + spYcYm;
      spXcYm:=dXc * dYm + spXcYm;
      spYcXm:=dYc * dXm + spYcXm

```

```

    END; { for }

```

```

  divisor:= sqXc * sqYc - spXcYc * spXcYc;

```

```

  IF divisor <> 0.0

```

```

  THEN BEGIN

```

```

    a1:= (sqYc * spXcXm - spXcYc * spYcXm) / divisor;
    a2:= (sqXc * spYcXm - spXcYc * spXcXm) / divisor;
    a0:= mediaXm - a1 * mediaXc - a2 * mediaYc;
    b1:= (sqYc * spXcYm - spXcYc * spYcYm) / divisor;
    b2:= (sqXc * spYcYm - spXcYc * spXcYm) / divisor;
    b0:= mediaYm - b1 * mediaXc - b2 * mediaYc;

```

```

    VetorV(PontosRef2D,Afim,emq)

```

```

  END

```

```

  ELSE BEGIN

```

```

    WRITELN(' ':10,'Dados inconsistentes ou alinhados.');
```

```

    Pausa

```

```

  END; { if divisor }

```

```

  Confirmou:=Divisor <> 0.0

```

```

END
ELSE BEGIN
  WRITELN;
  WRITELN(' ':10,'Numero de pontos deve ser >= 3 e <= ',CsMaxRef2D);
  WRITELN(' ':10,'Fornecidos ',TotalPontos:7);
  Pausa
  END { if Confirmou }
END { with }
END; { Calibrar }
{-----}
{XXXXXXXXXXXX fim Unidade III XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX}

{----- JM 27/10/88 }
PROCEDURE Carga(VAR PontosRef2D:TyPontosRef2D);
BEGIN { Carga }
  WITH PontosRef2D DO
  BEGIN
    TotalPontos:=4;
    xm[1]:=-115.1106; Ym[1]:=3.1138 ; xc[1]:=-113.0010; yc[1]:=0.0070;
    xm[2]:=-3.5280 ; Ym[2]:=-111.3446; xc[2]:=-0.0100 ; yc[2]:=-112.9910;
    xm[3]:=110.9322 ; Ym[3]:=0.2196 ; xc[3]:=112.9890 ; yc[3]:=0.0110;
    xm[4]:=-0.6336 ; Ym[4]:=114.6614 ; xc[4]:=-0.0050 ; yc[4]:=113.0100
  END { with }
END; { Carga }
{-----}

{----- JM 27/10/88 }
PROCEDURE Mostra(VAR Afim:TyAfim);
BEGIN { Mostra }
  WRITELN;
  WITH Afim DO
  BEGIN
    WRITELN('a0=',a0:15:7,' a1=',a1:15:7,' a2=',a2:15:7);
    WRITELN('b0=',b0:15:7,' b1=',b1:15:7,' b2=',b2:15:7);
  END;
  READLN
END; { Mostra }
{-----}

VAR
  PontosRef2D:TyPontosRef2D;
  Afim :TyAfim; { retorna }
  emq :REAL8;
  Confirmou :BOOLEAN; { retorna }
BEGIN
  CLRSCR;
  Carga(PontosRef2D);
  Calibrar2D(PontosRef2D,Afim,emq,Confirmou);
  Mostra(Afim);
END.

```

EM BRANCO

```

/* Rotinas para transformacoes angulares.                               JM 07/11/89 */
#include <stdlib.h>                                                    /* importa atof() */
#include <math.h>                                                       /* importa fabs() */
#include <stdio.h>                                                      /* importa sprintf() */

#ifdef REAL8
#define REAL8 double
#endif

#ifdef FALSE
#define FALSE 0
#define TRUE (~FALSE)
#endif

#ifdef PI
#define PI 3.14159265358979323846
#endif

/*----- JM 07/11/89 */
REAL8 GmsRad(REAL8 Gms) /* Transforma +-ggg.mmss em radianos */
{
    char Bafer[15];
    REAL8 g,m,s,Sinal;

    sprintf(Bafer,"%14.9f\0",Gms);
    s = atof(&Bafer[7]);
    Bafer[7] = '\0';
    m = atof(&Bafer[5]);
    Bafer[4] = '\0';
    g = atof(Bafer);
    Sinal = (Gms >= 0.0 ? (PI / 180.0) : (-PI / 180.0));
    return( (fabs(g) + m / 60.0 + s / 3600.e5) * Sinal);
} /* GmsRad */
/*-----*/

/*----- JM 07/11/89 */
REAL8 RadGms(REAL8 Rad) /* Transforma radianos em +-ggg.mmss */
{
    char Bafer[21];
    REAL8 g,m,s,Sinal;

    Sinal = (Rad >= 0.0 ? 1.0 : -1.0);
    Rad = fabs(Rad) * (180.0 / PI); /* + ggg.gggggggg */
    sprintf(Bafer,"%20.15f\0",Rad);

    Bafer[4] = '\0';
    g = atof(Bafer);

    Bafer[3] = '0';
    Bafer[4] = '.';
    s = atof(&Bafer[3]) * 0.6;
    sprintf(Bafer,"%20.19f\0",s);
    s = atof(&Bafer[4]) * 6.0e-20;
    Bafer[4] = '\0';
    m = atof(Bafer);
    return((g + m + s) * Sinal);
} /* RadGms */
/*-----*/

```

EM BRANCO

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- |01| ALLAM, M. M. Filtring and Editing of Automatically Generated Digital Elevation Models. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY Volume 24-III,1982.
- |02| ALLAM, M. M. DTM's Aplication in Topographic Mapping. DTM SYMPOSIUM May 9-11 ,1978.
- |03| ALMEIDA, J. F. 1989. Ortofoto Digital. Curitiba, Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciencias Geodésicas da UFPR .
- |04| BOOR, C. D. A Practical Guide to Splines. Springer- Verlag New York, 1978.
- |05| CARTOCAD CartoCad Guia do Usuário. Aeromapa Consultoria em Informática Ltda. Curitiba, 1991.
- |06| EBNER, H. HIFI - A Minicomputer Program Package for Height Interpolation by Finite Elements. CONGRESS ISPRS ,Hamburgo 1980.
- |07| EBNER, H. Height Interpolation by the Method of Finite Elements. DTM SYMPOSIUM. May 9-11 , 1978.
- |08| JANCAITIS, J. R. & JUNKINS J. L. Modeling Irregular Surfaces. Photogrammetric Engineering, 1973.
- |09| LEBERL, F. Interpolation in Square Grid DTM. ITC Journal 1973 / 5.
- |10| LEBERL, F. Photogrammetric Interpolation. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1975.
- |11| MACAROVIC, B. Progressive Sampling for Digital Terrain Models. ITC Journal 3, 397-416, 1973.
- |12| MANFRED, S. A Digital Elevation Model for the State of Baden-Worttemberg. CONGRESS ISPRS.
- |13| MILLER ,C.L. The Digital Terrain Model - Theory &

Application. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 24,3,1958.

- | 14| MORITZ, H & SUNKEL, H. Approximation Methods in Geodesy
Ed: Herbert Wichmann Verlag Karlshuhe , 1978.

- | 15| NEWMAN, M. W. & SPROULL, R. F. Principles of Interactive Computer Graphics. MacGraw-Hill

- | 16| OSTMAN, A. Sequential Data Processing for Photogrammetric Acquisition of Digital Elevation Models. CONGRESS ISPRS 1984 Rio de Janeiro.

- | 17| OSTMAN, A. Design of interactive Graphics for DEM Sampling. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY Volume 24-III,1982.

- | 18| PERSIANO, R. C. M. Intrudução a Computação Gráfica. LTC 1979.

- | 19| PLASTOCK, R. A. & KALLEY, G. Computação Gráfica Mac Graw-Hill 1991.

- | 20| SCHUT, G. H. Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models. The Canadian Surveyor, Vol. 30, N° 5, December 1976.

- | 21| STEFANOVIC, P. & TEMPFLI, K. Digital Terrain Model: Data acquisition, processing and applications. ITC Journal.

- | 22| STEVENS, R. T. Graphics Programming in C. M&T Publishing, 1988.

- | 23| TUOMISTO, T. & PELTOLA, J. Digitazing Elevation Contours with Image Scanner. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY Volume 24-III,1982.

BIBLIOGRAFIA:

- ALLAM, M. M. Filtering and Editing of Automatically Generated Digital Elevation Models. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY Volume 24-III, 1982.
- ALLAM, M. M. DTM's Application in Topographic Mapping. DTM SYMPOSIUM May 9-11, 1978.
- ALMEIDA, J. F. 1989. Ortofoto Digital. Curitiba, Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.
- BOOR, C. D. A Practical Guide to Splines. Springer-Verlag New York, 1978.
- CARTOCAD. CartoCad Guia do Usuário. Aeromapa Consultoria em Informática Ltda. Curitiba, 1991.
- EBNER, H. HIFI - A Minicomputer Program Package for Height Interpolation by Finite Elements. CONGRESS ISPRS, Hamburgo 1980.
- EBNER, H. Height Interpolation by the Method of Finite Elements. DTM SYMPOSIUM. May 9-11, 1978.
- JANCAITIS, J. R. & JUNKINS J. L. Modeling Irregular Surfaces. Photogrammetric Engineering, 1973.
- LEBERL, F. Interpolation in Square Grid DTM. ITC Journal 1973 / 5.
- LEBERL, F. Interpolation of Raster Heights from Digitized Contour Lines. ITC Journal 1973 / 5.
- MACAROVIC, B. Progressive Sampling for Digital Terrain Models. ITC Journal 3, 397-416, 1973.
- MANFRED, S. A Digital Elevation Model for the State of Baden-Worttemberg. CONGRESS ISPRS.

- MENEZES, J. C. Fundamentos práticos para a cartografia digital. Seminário apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR , 1992.
- MILLER ,C.L. The Digital Terrain Model - Theory & Application. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 24,3,1958.
- MORITZ, H & SUNKEL, H. Approximation Methods in Geodesy Herbert Wichmann Verlag Karlsruhe , 1978.
- NEWMAN, M. W. & SPROULL, R. F. Principles of Interactive Computer Graphics. MacGraw-Hill
- OSTMAN, A. Sequential Data Processing for Photogrammetric Acquisition of Digital Elevation Models. CONGRESS ISPRS 1984 Rio de Janeiro.
- OSTMAN, A. Design of interactive Graphics for DEM Sampling. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY Volume 24-III,1982.
- PERSIANO, R. C. M. Intrudução a Computação Gráfica. LTC 1979.
- PLASTOCK, R. A. & KALLEY, G. Computação Gráfica Mac Graw-Hill 1991.
- SCHUT, G. H. Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models. The Canadian Surveyor. Vol. 30, Nº 5, December 1976.
- STEFANOVIC, P. & TEMPFLI, K. Digital Terrain Model: Data acquisition, processing and applications. ITC Journal.
- STEVENS, R. T. Graphics Programming in C. M&T Publishing, 1988.
- TUOMISTO,T. & PELTOLA,J. Digitazing Elevation Contours with Image Scanner. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY Volume 24-III,1982.
- WILD Heerbrugg , SORA-OP AND SORA-OPC, EDICTION C RELEASE 3.10 October 1984.

