

Companhia, G.A.

0910355

## **PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS**

**Programas ESTER e TRADE. Fundamentos Teóricos,  
Exercícios e Aplicações em Microcomputador,  
Laboratório e Campo**

---

São Paulo, 1996

---

**Celso Dal Ré Carneiro**  
(Coordenador)

**UNICAMP**

**CPRM**

**IPT**

© 1996, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. • IPT  
Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira • Butantã  
CEP 05508-901 • São Paulo-SP • Caixa Postal 7141 • CEP 01064-970  
Telefax (011) 869-3353 • Telefone (011) 268-2211

Impresso no Brasil.

ISBN 85-85369-04-3

### **Diretoria Executiva IPT**

*Diretor-Superintendente:* Milton de Abreu Campanario

*Diretor Administrativo-Financeiro:* Dilson Funaro Júnior

*Diretor Técnico:* Marco Giulietti

*Diretor de Planejamento e Gestão:* Álvaro Rodrigues dos Santos

### **Instituto de Geociências UNICAMP**

*Diretor:* Celso Pinto Ferraz

### **CPRM - Serviço Geológico do Brasil**

*Presidente:* Carlos Oiti Berbert

*Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial:* Idelmar da Cunha Barbosa

*Diretor de Geologia e Recursos Minerais:* Antonio Juarez Milmann Martins

*Diretor de Administração e Finanças:* Augusto Wagner Padilha Martins

*Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento:* Gil Pereira de Souza Azevedo

*Gerente da Divisão de Marketing e Divulgação:* Ernesto Von Sperling

### **Colaboradores**

Joaquim Raul Torquato, Yociteru Hasui, Luís Humberto Pedreira, Naohiko Nagata, Shintaro Furumoto, Ginaldo A.C. Campanha, Genis Garcia A. Pereira, Jorge Kazuo Yamamoto, José Antonio S. Albino, Mário Otávio Costa, Nivaldo Paulon, Carlos César Tanaka, José Alberto Quintanilha.

### **Edição**

*Assessoria de Comunicação Social - Publicações*

*Assessor:* Rubens Santo Marini. *Editoração:* Ana Cristina Teixeira. *Editoração Eletrônica:* Laura Rumi Yamamura

### **Capa**

*Criação:* Almir Ferreira

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Projeção estereográfica para análise de estruturas : programas ESTER e TRADE.  
fundamentos teóricos, exercícios e aplicações em microcomputador. laboratório e  
campo / Celso Dal Ré Carneiro (coordenador). - São Paulo : Instituto de  
Pesquisas Tecnológicas ; Campinas, SP : Instituto de Geociências, Universidade  
Estadual de Campinas ; Rio de Janeiro : CPRM, 1996. - (Publicação IPT 2377)

Vários autores.

Vários colaboradores.

Bibliografia.

ISBN 85-85369-04-3

1. Geologia estrutural 2. ESTER (Programa de computador) 3. TRADE  
(Programa de computador) I. Carneiro, Celso Dal Ré, 1951- II. Título.

95-1777

CDD-551.8

### **Índices para catálogo sistemático:**

1. Análise de estruturas : projeção estereográfica : Geologia estrutural 551.8

Publicação IPT 2377

Tiragem: 600 exemplares

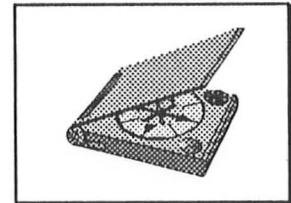
## Capítulo IV

# OPERAÇÃO DO PROGRAMA ESTER PARA PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA. Versão Quickbasic + Clipper

Shintaro Furumoto, Naohiko Nagata, Ginaldo A.C. Campanha, Genis Garcia A. Pereira,

Jorge Kazuo Yamamoto, José Antonio S. Albino,

Carlos César Tanaka e Celso Dal Ré Carneiro



## 1 INTRODUÇÃO

Este Capítulo originou-se, em parte, da necessidade de divulgação de alguns *software* desenvolvidos pelo IPT que, de maneira geral, se encontravam dispersos, além de apresentados em versões e adaptações informais, para atender às necessidades particulares de cada usuário.

Nos últimos anos, trabalhos envolvendo tratamento de dados estruturais tornaram-se freqüentes em múltiplas áreas das Geociências. Por um lado, diagramas Schmidt-Lambert manualmente elaborados são imprecisos, além de demandar muito tempo e existir certa dose de subjetividade no traçado de curvas de isofreqüência e guirlandas. Por outro lado, os programas que lidam com rotinas gráficas necessitam gerar, como produto, uma cópia das figuras, preferencialmente em impressoras matriciais, que são periféricos de saída disponíveis para a maioria dos usuários. Assim, foi elaborado um protótipo relativamente fácil de ser operado, mas não exaustivamente testado. É, pois, considerado uma versão alfa. A versão incorpora as características dos programas já existentes, conhecidos como TRADE (Yamamoto e Pereira Jr., 1984) e TRADE-AP (Campanha e Yamamoto, 1987).

O principal objetivo, então, foi organizar e estruturar os programas originais e as suas variantes em uso no IPT, adaptando-os como protótipo de um *software* acessível a qualquer usuário ou entidade envolvidos em tratamento de dados geológico-estruturais para elaboração automática de diagramas Schmidt-Lambert. Por este motivo, o sistema foi desenvolvido para microcomputadores da linha IBM PC/XT/AT e compatíveis com saídas em periféricos nacionais.

Constituem, ainda, objetivos do sistema:

- automatizar o processo de elaboração de diagramas, aumentando a sua rapidez e flexibilidade de construção;
- desenvolver e incorporar interface amigável (*user-friendly*) para criação e edição de arquivo de dados;
- desenvolver e incorporar rotina computacional para saída de diagramas em impressoras matriciais.

## 2 HISTÓRICO

Um dos primeiros trabalhos, no IPT, envolvendo tratamento de dados estruturais em computador, remonta a 1982, dentro do Programa de Pesquisa - "Análise Estrutural do Grupo São Roque" (Carneiro et al., 1982). A primeira versão, conhecida como TRADE, foi elaborada em linguagem BASIC no microcomputador Tektronix 4052. A descrição detalhada do algoritmo utilizado pode ser encontrada em Yamamoto e Pereira Jr. (1984). Mais tarde, um programa englobando um conjunto de rotinas estatísticas, denominado TRADE-AP, foi desenvolvido por Campanha e Yamamoto (1987), em linguagem BASIC para microcomputadores tipo *Apple*. A implementação dessas rotinas permite a obtenção de parâmetros como índice de forma, dispersão, autovalores e autovetores, que apresentam resultados de significado geológico mais prático como a guirlanda de melhor ajuste e a concentração média dos pontos. Posteriormente, uma versão desse programa em linguagem Turbo-Pascal, para microcomputadores da linha IBM-PC, foi divulgada por Campanha et al. (1988).



Programas aplicáveis à indústria mineral elaborados na, então, Divisão de Minas e Geologia Aplicada - DMGA-IPT, foram publicados em 1986, na coletânea intitulada "Programas para Microcomputadores Utilizáveis em Pequenas e Médias Empresas do Setor Mineral", coordenada pelo eng. Carlos A.J.V. Dinis da Gama. A obra (Gama, 1986) inclui banco de dados de sondagens, análises estatísticas (regressão linear simples e múltipla, métodos de interpolação, variograma, *krigagem* etc.), modelagem de jazidas minerais, lavra (cálculo de custos e lucros de produção, estabilidade de taludes etc.), entre outros.

Um pacote de aplicações gráficas em geologia e mineração foi elaborado pelo Agrupamento de Geomatemática do IPT (Costa, 1988), na integração entre o microcomputador, a mesa digitalizadora e o traçador gráfico (*plotter*), do qual foi selecionado um conjunto representativo de programas que caracterizasse as principais operações na solução de problemas relacionados com a geologia e a mineração. Dentre as aplicações descritas, destacam-se programas para representação de dados bidimensionais, cálculo de área e perímetro de polígonos, transformação de curvas de isovalores numa malha regular de dados, digitalização e reprodução de mapas e/ou desenhos, programas para traçar curvas de isovalores, representação de pólos de fraturas em diagrama estereográfico, representação cartográfica etc.

Programas que se utilizam da rede de projeção Schmidt-Lambert, baseados na aplicação de métodos propostos por Arthaud (1969), Angelier (1979) e Angelier e Mechler (1977), também foram desenvolvidos pela Divisão de Geologia do IPT nos anos 1983 e 1984 visando atender a estudos tectônicos em bacias tafrogênicas do Sudeste Brasileiro (Campanha et al., 1985). Executados originalmente em linguagem BASIC, no microcomputador Tektronix, possuem adaptações e versões para microcomputadores compatíveis com IBM-PC, ainda inéditas (Cap. VIII).

O produto aqui apresentado é um programa computacional (*software*) que gera arquivos e elabora diagramas Schmidt-Lambert, englobando as operações de uso mais freqüentes, como plotagem de pólos de planos e lineações, projeções ciclográficas, contagem e traçado de curvas de isofreqüência, além de incorporar parâmetros estatísticos para obtenção do índice de forma, dispersão, autovalores e autovetores. Preferiu-se alterar também a denominação TRADE dos programas originais, para caracterizar um produto diferente da série anterior, que utiliza plataforma compatível com IBM-PC e que admite uma série de novos tratamentos e apresentações de resultados gráficos.

O algoritmo básico das versões originais permanece inalterado, sendo previsível - pois os testes foram limitados - que surjam eventuais incorreções para determinados conjuntos de dados. Assim, solicita-se aos usuários e interessados que documentem estes casos e os relatem à equipe, para ajustes ou correções nas futuras versões. A operação do programa é intuitiva e pode ser realizada por usuários com pouco conhecimento em manuseio de microcomputadores. Para facilidade de trabalho, recomenda-se a utilização de microcomputador contendo disco rígido. Não foram incluídos, nesta versão, os protótipos que aplicam os métodos propostos por Arthaud (op. cit.) e Angelier e Mechler (op. cit.), encontrados no programa TRADE, descrito no Capítulo VIII, e que posteriormente deve ser incorporado a ESTER.

A revisão e ajustes finais do *software* ficaram a cargo do físico Shintaro Furumoto, mas a etapa principal de trabalho foi coordenada pelo geól. Naohiko Nagata. O algoritmo de saída gráfica para impressora foi criado pelo eng. agrôn. José Antonio A. Somaglia. Coube ao assistente-aluno Carlos César Tanaka a rotina da rotina de abertura e a um dos autores (CDRC) a revisão final do texto. Participaram, ainda, dos trabalhos iniciais de implantação, o fis. Mário Otávio Costa e tecnól. Nivaldo Paulon, a quem os autores agradecem. Ressalta-se, imediatamente, que o programa TRADE, descrito no Capítulo VIII, possui aplicações mais amplas que ESTER. Embora seu formato visual e modo de operação sejam diferentes, os fundamentos teóricos são similares. Assim, se necessário, TRADE pode perfeitamente substituir ESTER na produção de curvas de contorno.

## DESCRIÇÃO E OPERAÇÃO DO PROGRAMA ESTER

O programa é composto de dois módulos principais: gerenciador de arquivo e gerador de diagrama. A área de trabalho do sistema é definida pelo usuário, que determina o disco e subdiretório onde são iniciados os trabalhos. O módulo gerenciador cria e edita arquivos que armazenam dados com formato adequado para uso na elaboração de diagramas. O módulo gerador de diagrama representa o núcleo principal e corresponde aos programas TRADE originais, que elaboram diagramas, segundo opções definidas pelo usuário.

A estrutura do programa computacional ESTER, em seus dois módulos básicos - DIAGRAMA e GERENCIADOR DE ARQUIVO - está esquematizada na Figura IV.1.

Por meio do módulo GERENCIADOR DE ARQUIVO, pode-se criar um novo arquivo de dados ou editar um já existente. Estes dados serão usados no módulo DIAGRAMA para elaboração dos diagramas. Todos os módulos apresentam as opções pelo "menu suspenso"; de utilização bastante fácil, mesmo para usuários com pouca experiência nesse manuseio. O programa foi estruturado em blocos que são chamados a partir do menu principal, pelo sistema de gerenciamento de fluxo de operação. O menu pode chamar outros blocos do programa por submenus, tornando a operação do programa extremamente simples.

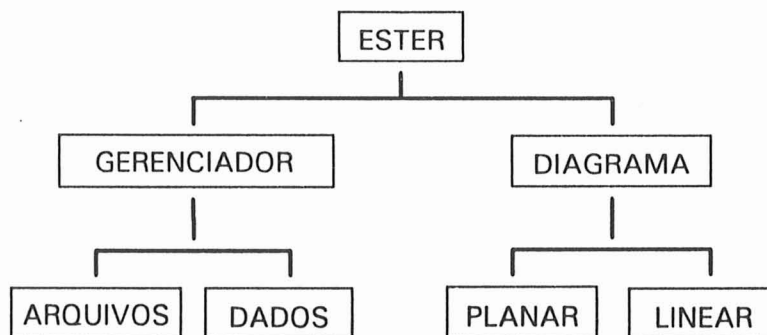


FIGURA IV.1 - Estrutura esquemática do programa ESTER

O módulo DIAGRAMA constitui a unidade principal do sistema que, no estágio atual, permite selecionar o tipo de dado utilizado (lineação ou plano), a sua forma de entrada, a operação envolvida (plotagem de pólos, curvas de isofrequência e parâmetros estatísticos) e o tipo de saída gráfica que o usuário deseja. A partir destas informações, passa-se a elaborar o diagrama propriamente dito. Se o tipo selecionado for PLANOS, o usuário pode optar entre a projeção *ciclográfica* ou *polar* dos dados.

A entrada de dados é sempre feita a partir de arquivos, existentes ou gerados via teclado. Tanto os arquivos antigos, como os novos - criados no momento da operação pelo módulo GERENCIADOR DE ARQUIVO - devem ser obrigatoriamente cadastrados por ESTER. Pode-se escolher o periférico de saída entre impressora matricial e traçador gráfico (*plotter*), ou simplesmente visualizar o resultado na tela.

### 3.1 Algoritmos Utilizados

Este programa foi elaborado para tratar de dados estruturais na forma Clar, ou seja, as medidas são dadas pelo par azimuth do rumo do mergulho/ângulo de mergulho real, e a atitude de dados lineares de maneira análoga, na forma do azimuth do rumo da linha/mergulho da linha. Para efetuar conversões de outras notações para o formato Clar, deve-se adotar procedimentos descritos no Capítulo II.

A descrição do algoritmo encontra-se em Carneiro et al. (1982) e Yamamoto e Pereira Jr. (1984) na parte relativa à contagem de pólos, interpolação, contorno e desenho das curvas de isofrequência. Os fundamentos das rotinas estatísticas são descritos no Capítulo V deste livro e em obras ali citadas. Em síntese, o diagrama é obtido a partir da transformação dos dados de suas coordenadas esféricas em coordenadas retangulares, que podem ser lançadas num sistema de eixos cartesianos. Para a plotagem de pólos de planos no diagrama, foram utilizadas as seguintes relações (Hobbs et al., 1976):

$$xc = rc * \text{sen}(\theta) \quad (\text{IV.1})$$

$$yc = rc * \text{cos}(\theta) \quad (\text{IV.2})$$

onde:

$xc, yc$  = coordenadas do pólo

$rc$  = distância do centro do diagrama

$$rc = r \cdot \sqrt{2} \cdot \text{sen}\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$r$  = raio do círculo

$\theta$  e  $\phi$  = coordenadas esféricas do plano (respectivamente azimuth e mergulho).

Para projetar uma lineação utiliza-se:

$$rc = r \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (\text{IV.3})$$

Para o traçado de projeções ciclográficas, utilizou-se a função que define o mergulho aparente de um plano (Ragan, 1973) entre a direção do plano e a direção do mergulho aparente:

$$\tan \alpha = \tan \phi * \sin \beta \quad (\text{IV.4})$$

onde:

$\alpha$  = mergulho aparente;

$\phi$  = mergulho real;

$\beta$  = ângulo entre a direção do plano e a direção do mergulho aparente

Entre os métodos mais utilizados para a contagem de pólos, destaca-se aquele conhecido como método da malha, que consiste em centrar o arco esférico de contagem (1% da área da semi-esfera) sobre os nós de uma determinada malha, atribuindo-lhes os valores de número de pólos contados. Utiliza-se, do mesmo princípio, o método de Mellis (1942 apud Yamamoto e Pereira Jr. op. cit.), ao centrar o arco esférico em cada um dos pontos (pólos), identificando os nós que caem dentro da área de contagem. Este último foi adotado por aqueles autores, pela sua maior facilidade de implementação. O algoritmo para desenho das curvas foi baseado em programa publicado por Kalkani e Von Freese (1980 apud Yamamoto e Pereira Jr. op. cit.).

As atitudes de lineações e pólos de planos também podem ser tratadas como vetores unitários, com relação a um sistema de coordenadas triortogonal. Sua orientação pode ser definida por três cossenos diretores ( $l$ ,  $m$ ,  $n$ ) com relação a cada eixo. Tomando-se um conjunto de vetores, demonstra-se que a determinação de um eixo ou plano de melhor ajuste, com relação às quais o somatório dos quadrados dos desvios angulares dos vetores é mínimo (ou máximo), é obtida pela determinação dos autovalores e autovetores da matriz (Cap. V):

$$A = \begin{vmatrix} l_i^2 & l_i m_i & l_i n_i \\ m_i l_i & m_i^2 & m_i n_i \\ n_i l_i & n_i m_i & n_i^2 \end{vmatrix} \quad (\text{IV.5})$$

A cada um dos autovalores ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  e  $\lambda_3$ ) encontra-se associado um autovetor, sendo os autovetores perpendiculares entre si. O vetor associado ao maior autovalor indica a orientação da concentração média da distribuição, enquanto que o vetor associado ao menor autovalor indica a orientação normal do melhor plano que contenha o conjunto de vetores (pólos), ou seja, no caso da análise de dobramentos, indica o melhor eixo  $p$ . O autovetor associado ao autovalor intermediário será perpendicular a esses dois. Os autovalores, cuidados pelo número  $N$  de dados, correspondem às varianças  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  nas três principais direções (Campanha et al., op. cit.).

Os três autovetores ( $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ ) definem um elipsóide (representação quádrlica de um tensor de 2ª ordem). Os semi-eixos desse elipsóide têm como comprimento  $\sqrt{-A_1}$ ,  $\sqrt{A_2}$ ,  $\sqrt{A_3}$  e correspondem aos "desvios-padrões principais". As propriedades matemáticas do Tensor Orientação são as mesmas de outras grandezas físicas do tipo tensor de 2ª ordem, tais como, o esforço mecânico (*stress*), a deformação interna (*strain*), o índice de refração de minerais etc.

É conveniente, ainda, o estabelecimento de índices que permitam comparar a forma e a dispersão de distribuição de dados orientados. A relação entre autovalores permite inferir o tipo de distribuição dos dados. Normalmente, têm-se os autovalores  $A_1 > A_2 > A_3$ . No caso particular em que  $A_1 = A_2 = A_3$ , a distribuição é aleatória ou uniforme, ou seja, não há orientação preferencial. No caso em que  $A_1$  é grande e  $A_2$  e  $A_3$  são comparativamente pequenos, tem-se uma distribuição tendente a unimodal, sendo o "elipsóide de orientação" do tipo alongado. Se  $A_2 = A_3$ , tem-se uma simetria rotacional em torno do autovetor  $t_1$ , associado ao maior autovalor  $A_1$ . No caso de  $A_1$  e  $A_2$  serem grandes, comparativamente com  $A_3$  pequeno, a distribuição é em guirlanda, ou seja, os pólos se distribuem segundo um plano. O elipsóide de orientação é do tipo achatado. No

caso de  $A_1 = A_2$ , a guirlanda não apresenta concentração máxima e mostra uma simetria rotacional em torno do autovetor  $t_3$ , associado ao menor autovalor  $A_3$ .

Esse tipo de relação entre os autovalores levou Campanha e Yamamoto (1987) a propor alguns índices que descrevem melhor a distribuição. Assim, o índice  $C$  indica a dispersão da amostra. Uma distribuição aleatória (uniforme) apresentará  $C = 0$ . Quanto maior a orientação preferencial, tanto mais tenderá a 1. O índice de forma  $F$  varia de  $-1$  a  $+1$ , e, quando  $F = 0$ , tem-se um caso exatamente intermediário entre as distribuições uniaxiais e guirlanda. Se  $1 > F > 0$ , a distribuição tende para guirlanda, sendo tanto mais perfeita, quanto mais  $F$  se aproximar de 1. Se  $-1 < F < 0$ , a distribuição tende para unimodal, sendo tanto mais perfeita, quanto mais  $F$  se aproximar de  $-1$ .

### 3.2 Linguagem de Programação e Equipamento Utilizado

Optou-se pelo uso do compilador Clipper, versão Summer 87 e atualizações posteriores, para elaborar o sistema gerenciador principal, pela facilidade de operação e disponibilidade de recursos versáteis para gerar esse tipo de interface em microcomputadores. Porém, os códigos produzidos apresentam a desvantagem de ocupar quantidade relativamente grande de memória RAM.

O módulo para elaboração do diagrama já havia sido desenvolvido em linguagem BASIC e, conseqüentemente, a rotina para impressão dos gráficos em impressoras matriciais também foi concebida na mesma linguagem. O programa para a tela de abertura (Fig. IV.2) foi desenvolvido em linguagem C, permitindo ler e apresentar as telas geradas pelo editor gráfico Storyboard, versão 2.0. Não foram incluídas rotinas gráficas para armazenamento de telas em arquivos, diante da existência, no mercado, de capturadores eficientes para esse tipo de tarefa. A *editoração gráfica* dos estereogramas elaborados em ESTER pode ser feita diretamente no computador, por meio de programas como INSET, CAPTURE e outros.

Pode-se utilizar qualquer equipamento da linha IBM PC/XT/AT e compatíveis, com 640 Kb de memória básica e sistema operacional DOS versão 3.3 e posteriores. No desenvolvimento, foi utilizado um microcomputador Monydata, modelo Nyda 386 SC, com coprocessador aritmético 80387-SX, que possibilita recálculo bastante rápido dos diagramas. Observa-se que, devido à grande quantidade de cálculos necessários para elaboração dos diagramas, o processamento do programa em micros PC/XT demanda tempo considerável, que pode ser reduzido se houver co-processador aritmético. Nesta versão preliminar, as saídas gráficas em impressoras matriciais limitaram-se ao padrão Epson (como Rima XT 180 e outras impressoras de nove agulhas) e, em traçadores gráficos, ao padrão Houston (p. ex. DIGICON TDD-21). Modelos diferentes desses periféricos podem produzir resultados insatisfatórios.

### 3.3 Instalação

O tamanho dos vários módulos do programa é desigual. Assim, convém instalar corretamente o sistema ESTER conforme o equipamento disponível. Antes de iniciar a operação, deve-se retirar principalmente os *disk-drives* virtuais (RAM-drives), programas residentes ou dispositivos já instalados na memória RAM do microcomputador, pois ESTER necessitará de aproximadamente 500 Kbytes de memória básica.

A configuração mínima para operar esta versão é um microcomputador da linha IBM PC/XT, AT 286 ou 386 com, pelo menos, 640 Kb de memória RAM e um disco rígido com, no mínimo, 500 Kb de espaço disponível. Recomenda-se usar equipamento que disponha de coprocessador aritmético, para tornar mais rápida a operação. ESTER poderá ser executado diretamente do disquete. Para utilizá-lo a partir do disco rígido, basta copiar os arquivos do disquete para o diretório escolhido. Assim, convém criar um subdiretório específico no disco rígido (como p.ex. C:\ESTER ou C:\ES etc.), para facilitar as operações. Digitando-se o primeiro nome (ESTER), o arquivo ESTER.BAT comandará o acesso aos arquivos ESTER\_CL.EXE, ABERTURA.EXE, ABERTURA.PIC e BTRADE.EXE.

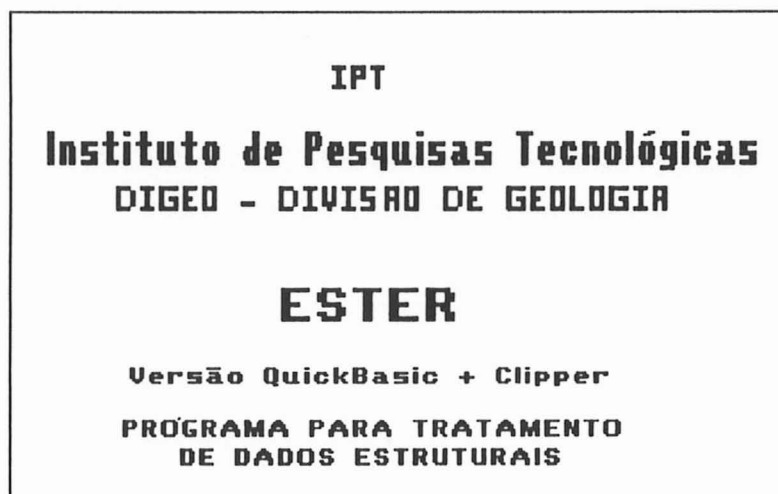


FIGURA IV.2 - Tela de apresentação de ESTER



Recomenda-se atualizar, sempre, data e horário de início dos trabalhos, antes de dar início às operações. Os arquivos ABERTURA.EXE e ABERTURA.PIC são opcionais: gerenciam e apresentam a tela de abertura (Fig. IV.2), precedendo a tela principal (Fig. IV.3). O primeiro foi desenvolvido em linguagem C para interpretar telas com extensão ".PIC" que foram geradas em *Storyboard*, versão 2. Caso ambos os arquivos não estejam presentes no diretório em que se encontra ESTER, a tela de abertura não será apresentada.

### 3.4 Arquivo de Dados

Os arquivos de dados podem estar no mesmo subdiretório em que estão os arquivos do sistema ou em outra unidade/subdiretório. São a seguir descritos os quatro tipos de arquivos de dados que poderão ser lidos pelo programa, exemplificados na Tabela IV.1. Mais informações são apresentadas no Capítulo VIII.

*Tipo 1* - arquivo padrão tipo Dbase, cuja extensão DBF é alterada para ".STR", pelo próprio programa. O arquivo é composto de registros com as seguintes características:

- campo RUMO: numérico com tamanho 3;
- campo MERGULHO: numérico com tamanho 2.

*Tipo 2* - arquivo texto "em linha", com rumo e mergulho em ordem seqüencial, ou seja, um dado por linha.

*Tipos 3 e 4* - arquivos-texto, com rumo e mergulho em ordem seqüencial, um par (rumo, mergulho) de dados por linha, delimitado por uma vírgula ou espaço, respectivamente. Os exemplos acham-se na Tabela IV.1.

**TABELA IV.1** - Formatos adequados para indicação de medidas estruturais, na elaboração de arquivos de dados

Tipo 1		Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
RUMO	MERGULHO			
345	45	345	345,45	345 45
(...)	(...)	45	(.....)	(.....)
(...)	(...)	(...)	(.....)	(.....)
231	23	167	231,23	231 23
167	46	46	167,46	167 46

A priori, os arquivos de Tipo 1 são os gerados pelo próprio programa ESTER, ao passo que os arquivos tipo texto podem ser gerados em qualquer processador de texto. Para facilitar o acompanhamento das telas e opções apresentadas a seguir, recomenda-se utilizar os dados do arquivo TESTE1.TXT (Tab. IV.2). O arquivo TESTE2.TXT refere-se ao segundo exercício de apreensão, ao final do Capítulo.

**TABELA IV.2** - Medidas estruturais para resolução do Exercício IV.1. Dados do arquivo TESTE1.TXT

Plano ou Linha (Atitude Clar)									
154/32	298/43	138/25	134/29	178/02	279/06	295/36	308/30	306/54	310/85
150/35	303/46	149/27	132/14	142/15	293/14	300/37	322/39	311/52	310/70
140/17	324/40	165/30	133/15	142/35	260/09	301/34	328/08	318/72	302/59
162/17	304/42	191/05	131/20	140/36	252/14	305/43	322/16	306/80	312/88
191/25	300/40	147/12	135/10	142/35	310/22	323/35	340/20	305/83	133/88
357/04	280/35	340/13	156/21	142/15	294/24	324/34	320/10	326/46	133/85
237/20	272/42	151/23	158/20	138/23	300/31	305/45	320/64	316/45	310/70
320/25	289/25	128/40	167/18	127/27	292/28	336/30	315/01	310/76	130/80
209/24	135/39	145/54	155/22	147/17	298/39	304/30	305/60	308/85	125/40
303/10	150/15	142/15	315/21	311/11	295/40	326/44	300/65	306/89	295/70
294/41	139/17	166/10	152/06	297/15	299/30	332/46	305/55	312/85	

### 3.5 Carregando e Operando o Programa

Com os programas copiados num subdiretório adequado, basta digitar ESTER para iniciar o processo. A tela de abertura será apresentada com duração de 10 segundos, semelhante à Figura IV.2. Se o usuário desejar, basta pressionar qualquer tecla para prosseguir, sem necessidade de esperar os 10 segundos. A seguir, será apresentada a tela principal de ESTER, com as duas opções possíveis dos módulos, anteriormente descritos, mais a terceira opção para TERMINAR e retornar ao sistema operacional, como mostra a Figura IV.3.



### 3.5.1 Configurando a área de trabalho

Selecionada a opção GERENCIADOR DE ARQUIVO, aparecerá um menu suspenso como o da Figura IV.4. Por meio dele, o usuário poderá modificar interativamente a unidade de disquete-padrão, o subdiretório ou ambos.

Se o usuário estiver com arquivos de dados em alguma unidade de disco, ou em algum subdiretório diferente daquele em que ocorreu a inicialização do programa, essa informação deve ser fornecida ao escolher o arquivo de dados na opção GERENCIADOR DE ARQUIVO. Altera-se desse modo a área de trabalho do sistema, na qual serão criados ou selecionados os arquivos de dados. Recomenda-se manter os arquivos de dados sempre no mesmo diretório em que foram cadastrados pela primeira vez, para evitar repetição da operação de cadastro, referida no item 3.5.2.a.

### 3.5.2 Gerenciando e criando arquivos de dados

O módulo GERENCIADOR DE ARQUIVO foi incluído em ESTER para facilitar as operações com arquivos de dados (Figs. 5, 6 e 7). Dados de arquivos pré-existentes podem ser interativamente editados. Além disso, pode-se igualmente gerenciar e editar novos arquivos de dados, que são automaticamente cadastrados ao ser criados.

#### 3.5.2.a A opção CADASTRO

A opção CADASTRO dá acesso ao arquivo denominado CADASTRO.STR da unidade/subdiretório corrente, que deverá conter informações dos arquivos de dados gerados ou cadastrados, tais como nome do arquivo, tipo de estrutura geológica, unidade litológica, local, data de criação do arquivo e observações pertinentes. A alimentação dessas informações é solicitada toda vez que um arquivo de dados existente é cadastrado pelo programa ESTER (Fig. IV.5). Os arquivos de dados podem ser listados, modificados ou eliminados do arquivo CADASTRO.STR. O arquivo de cadastro e o arquivo de dados correspondente devem estar na mesma área de trabalho, para haver compatibilidade entre eles.

A opção LISTAR indica os arquivos cadastrados no sistema e as informações disponíveis para cada arquivo de dados existente, embora não possibilite sua edição, oferecida pela opção MODIFICAR. As seguintes informações são previstas no banco de dados: TIPO-ESTRU, que discrimina o tipo de estrutura observada; UN-LITOL, que relaciona o tipo rochoso predominante; LOCALIDADE e DATA, que permitem registrar local das medidas e data da coleta ou de sua inserção no sistema.

FIGURA IV.3 - Tela principal de ESTER

FIGURA IV.4 - O módulo gerenciador de arquivo

FIGURA IV.5 - Geração de um novo arquivo de dados

FIGURA IV.6 - A opção EDITAR do módulo GERENCIADOR DE DADOS

O programa, em seguida, apresenta a pergunta "Existe arquivo de dados. Apaga também (S/N) ?". Caso o usuário indicar a opção <S>, o arquivo será apagado do diretório corrente. A sua recuperação posterior não poderá ser feita com os recursos de ESTER, devendo-se recorrer a utilitários específicos.

Se o usuário apagar um arquivo de dados por meios externos (por exemplo, pelo comando DEL ou ERASE do Sistema Operacional MS-DOS), isso gerará um conflito de informações com o arquivo de cadastro. Nesse caso, é preciso atualizar o cadastro - por meio do módulo Gerenciador - eliminando as informações do arquivo apagado.

### 3.5.2.b A opção ARQUIVO DE DADOS

A opção ARQUIVO DE DADOS do módulo GERENCIADOR DE ARQUIVOS permite gerar novo arquivo de dados ou editar um já existente. Cria-se um arquivo novo, selecionando a opção correspondente.

A Figura IV.6 mostra o campo apresentado por ESTER para indicação do nome do arquivo. Teclando-se <F2> obtém-se a lista de arquivos de dados cadastrados. Em seguida, preenche-se nome e informações complementares do arquivo de dados que está sendo criado, nos respectivos campos do arquivo de cadastro citado no item anterior. Mesmo pertencendo ao padrão Dbase, os arquivos gerados por ESTER terão a extensão ".STR".

Na opção EDITAR, é possível alterar, incluir ou apagar os pares de dados (Fig. IV.7) que serão utilizados na opção DIAGRAMA (Fig. IV.8). Terminada a fase anterior, basta digitar o par de dados (rumo e mergulho), observando que o limite de valores para a grandeza rumo está limitado entre o valor 0 e 360 graus, e o do mergulho, entre os valores 1 e 89 graus. ESTER não aceita valores fora desses intervalos.

O campo OBSERVAÇÃO pode conter outros comentários e informações relevantes. Para percorrer esses campos, a partir da tela indicada na Figura IV.5, basta utilizar as setas direcionais <direita> e <esquerda>. As setas <para cima> e <para baixo> permitem percorrer os campos nos diferentes arquivos cadastrados.

A opção EXCLUIR possibilita apagar um determinado arquivo do cadastro. Pode-se apagar apenas o nome do arquivo, na forma "excluir do cadastro de dados", respondendo <S> quando aparecer a pergunta "excluir cadastro (S/N) ?". Esse apagamento não afeta, porém, o arquivo de dados correspondente.

FIGURA IV.7 - As opções de EDIÇÃO de um arquivo de dados

FIGURA IV.8 - O módulo elaborador de diagramas

### 3.5.3 Elaborando diagramas

DIAGRAMA é o principal módulo de ESTER, no qual serão elaborados os diagramas pretendidos (Fig. IV.8). Acionado pelo menu principal, o módulo apresenta inicialmente duas opções de tipos de dados. Após escolha do tipo (opções: LINEAR ou PLANAR), a entrada é feita exclusivamente por meio de arquivos já existentes.

O nome do arquivo de dados pode ser digitado pelo teclado ou selecionado a partir da lista de cadastro, acionada pela tecla de função <F2> (Fig. IV.9).

Uma vez definidos os dados, convém lembrar que as opções para editá-los (listar, incluir, modificar ou eliminar dados) são oferecidas apenas no GERENCIADOR DE ARQUIVO, ou seja, *antes* da execução e processamento do diagrama.

No caso de dados planares (Fig. IV.10), o usuário pode optar pela projeção ciclográfica dos planos. Surge, a seguir, uma sequência de telas e menus, em que o usuário escolherá interativamente opções de *layout* e características do diagrama que se deseje elaborar, assim como as formas de saída, apresentadas na Figura IV.11.

Assim, é possível obter: (1) plotagens de pólos de planos ou lineações, (2) apenas contagem, (3) traçado das curvas de isofrequência e (4) cálculo dos parâmetros estatísticos. Pode existir, ainda, qualquer combinação entre eles. Deve-se, também, optar pela forma de saída gráfica desejada (tela, *plotter* ou impressora).

Desse estágio em diante, o controle é passado para outro bloco do programa, cuja operação é simples e desenvolve-se em função das opções já escolhidas. À medida que o programa vai sendo executado, é exibida uma tela com as operações em andamento, principalmente envolvendo cálculos (por exemplo, contagem) ou rotinas internas (Fig. IV.12).

FIGURA IV.9 - Entrada de dados a partir de arquivo existente

FIGURA IV.10 - Opções para dados do tipo PLANAR

FIGURA IV.11 - Opções de LAYOUT e saída do DIAGRAMA

Quando é necessária a atenção, um sinal sonoro e/ou um menu solicitará a intervenção do usuário. Se a opção incluir traçado de isolinhas, após efetuar a contagem, uma tela apresentará o número de dados, as frequências máxima e mínima, a porcentagem que representa um único ponto (Fig. IV.13), e solicitará do usuário a quantidade de curvas escolhidas (limitadas a um máximo de 6).

Após a escolha, serão apresentados valores para cada curva, espaçados uniformemente entre as frequências máxima e mínima. Porém, tais valores ainda serão passíveis de alteração pelo usuário, havendo maior flexibilidade na escolha do número e valores das curvas mais adequadas a cada caso.

Em seguida, o programa deve iniciar o desenho do diagrama na tela, impressora ou *plotter* dependendo da escolha. As Figuras IV.14 e IV.15 exemplificam, respectivamente, o produto obtido na plotagem de pólos de planos e traçado das isolinhas e, por último, a combinação de parâmetros estatísticos com os demais elementos num mesmo diagrama. O desenho obtido com tal volume de informações pode parecer sobrecarregado (Fig. IV.15). Dados com mesmo valor coincidem, não se diferenciando na plotagem. O diagrama final parecerá conter número inferior de elementos.

Na plotagem manual, isso pode ser contornado com leve deslocamento lateral dos pontos, para evitar a impressão visual. Outra alternativa seria atribuir pequeno acréscimo ou redução no valor dos dados (por exemplo, da ordem de  $10^\circ$ ), que permanecem fidedignos, diante da relativa imprecisão das bússolas disponíveis para medidas no campo.

Os parâmetros estatísticos são desenhados como três planos ortogonais entre si, cujas intersecções são os três autovetores (Fig. IV.15), onde  $t_1$  (ou número 1 no diagrama) representa o vetor médio e  $t_3$  (ou 3), o eixo  $\pi$  (Cap. VI). O valor entre parênteses de  $t_1$  é a notação Clar do plano médio que, no caso de lineações, coincide com o vetor médio.

Se a saída gráfica for dirigida para a tela, após a conclusão do desenho do diagrama, ouve-se um sinal sonoro (*beep*). Existe ainda a opção de saída por meio de *plotter*. A exibição do resultado na tela difere ligeiramente no *layout* da saída da impressora e *plotter* e, no caso da inclusão dos parâmetros estatísticos, é efetuado um ajuste, na tela, para comportar todos os resultados.

Apertando qualquer tecla, o usuário pode, no último menu (Fig. IV.16), escolher novos intervalos de curvas de isofrequência. A operação pode ser repetida tantas vezes quanto forem necessárias e, após obter um resultado satisfatório, abre-se ainda a possibilidade de impressão do diagrama. Após execução no periférico escolhido, pode-se seleccionar o procedimento subsequente, continuando ou iniciando novo processo.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta versão de ESTER é interativa e relativamente fácil de ser manipulada, mas ainda é "alfa", uma vez que está sujeita a eventuais erros e imprecisões. De todo modo, os testes mostraram ser adequada para aplicações científicas, educacionais e de pesquisa.

O programa BTRADE, para elaboração de diagramas, foi desenvolvido originalmente em linguagem Basic e a interface

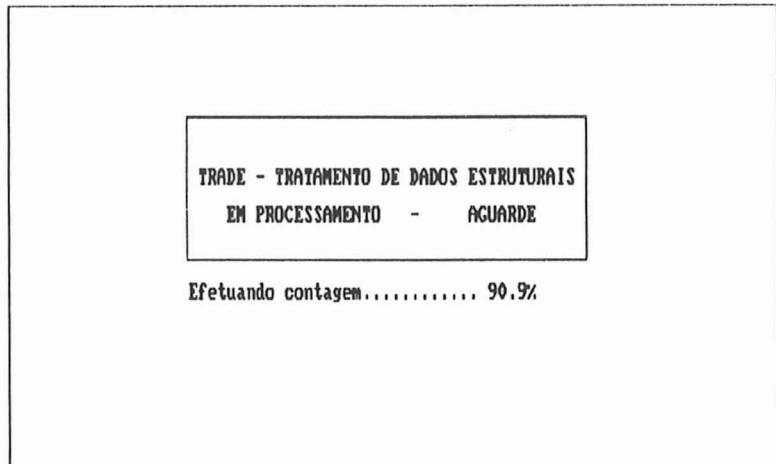


FIGURA IV.12 - Tela exibida pelo programa, enquanto o usuário aguarda a operação de contagem

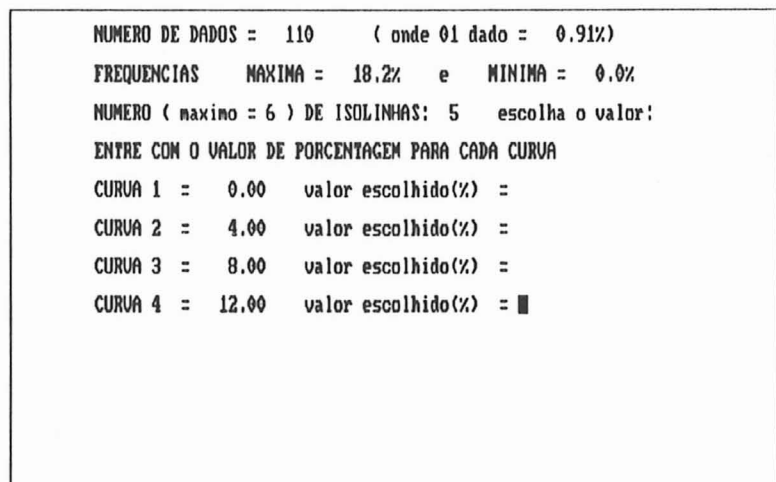


FIGURA IV.13 - Exemplo de tela apresentada pelo programa na escolha da quantidade e valores das curvas de isofrequência

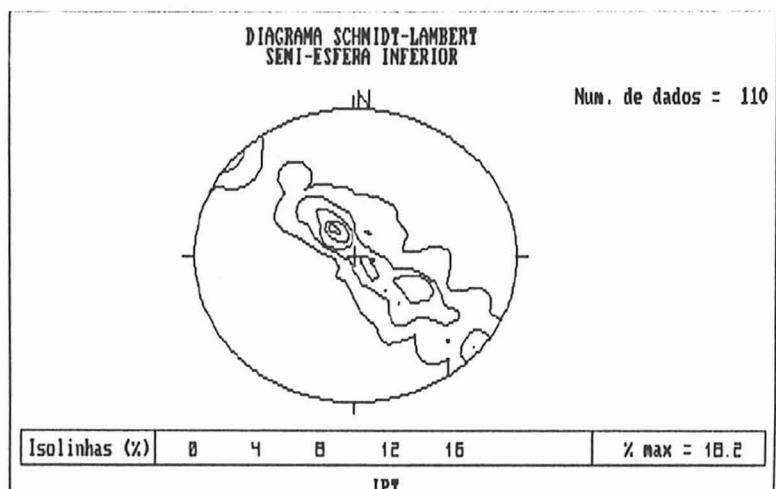


FIGURA IV.14 - Plotagem de pólos de planos efetuada pelo programa para conjunto de 110 dados



ESTER\_CL.EXE, em Clipper. A conexão das duas partes é operada pelo arquivo "batch" chamado ESTER.BAT, pois as linguagens Clipper e Basic não se "comunicam" diretamente. Será necessário adotar no futuro uma só linguagem para gerar o programa executável.

As limitações principais de ESTER são: a rotina gráfica para impressoras matriciais de nove agulhas, que só permite uso de um padrão específico (Epson) e as dimensões do diagrama em impressoras matriciais, pois o programa oferece um único tamanho.

No que se refere a traçadores gráficos, ESTER fica por ora restrito ao padrão Houston. São mantidas as limitações impostas pelo algoritmo original, que basicamente não foram modificadas. Assim, para um determinado conjunto de dados, algumas curvas de isofrequência podem ter seu traçado interrompido em alguns trechos. Essa situação pode ser contornada variando-se ligeiramente os valores das curvas, até se obterem números mais adequados. A operação é interativa.

O tempo de processamento, relativamente elevado, constitui limitação devida à linguagem de programação BASIC original e à quantidade de cálculos efetuados em ponto flutuante. Esse desempenho melhora sensivelmente com o uso de co-processador aritmético. Para exemplificar, tendo-se como base 257 dados de pólos de planos, foi feita a seguinte comparação aproximada:

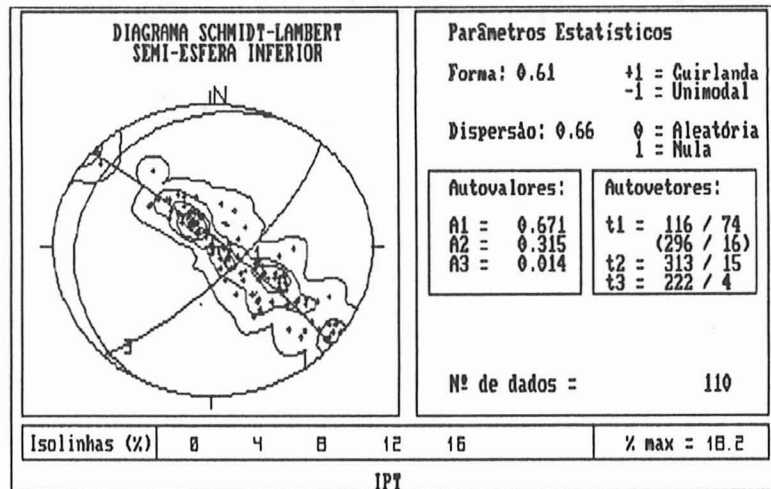


FIGURA IV.15 - Exemplo de tela gráfica gerada pelo programa

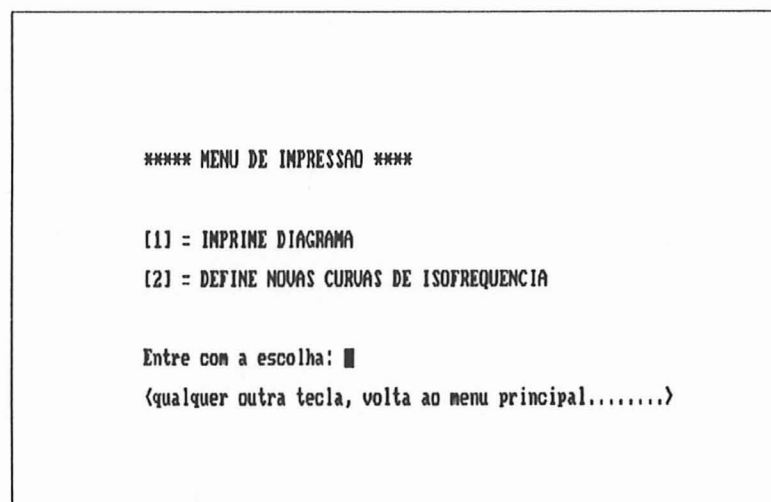


FIGURA IV.16 - Menu apresentado pelo programa após a exibição do diagrama na tela

1. em equipamento antigo, como um micro XT com clock de 10 Mhz, sem co-processador aritmético, leva-se cerca de 1 minuto na plotagem, perto de 10 minutos na contagem e de 6 minutos para desenho de seis curvas de isofrequência. As rotinas estatísticas completam-se em dois minutos;
2. num microcomputador Dynacom AT-286 com clock de 12 Mhz e com co-processador matemático, a plotagem leva cerca de 25 segundos e a contagem, por volta de 2 minutos;
3. num microcomputador 386 DX com clock de 40 Mhz e co-processador matemático, a plotagem dos pólos, contagem e traçado das curvas na tela são quase instantâneos, com tempo de espera de alguns segundos.

Quando a opção é para mais de um tipo de diagrama, pode ocorrer sobreposição de pólos, curvas, ou índices indicativos dos autovetores. Isso diminui a legibilidade, de modo que opções individuais devem ser tentadas para facilitar a compreensão do estereograma final.

## EXERCÍCIOS DE APREENSÃO. PROGRAMA ESTER

### EXERCÍCIO IV.1 - OPERAÇÃO COM ARQUIVOS

Após instalar o programa ESTER, de acordo com as indicações do item IV.3, verificar a existência do arquivo TESTE1.TXT, escrito na notação Clar (Tab. IV.1). O formato adotado permite construir estereogramas tanto de estruturas planares ou lineares. Nos exemplos que ilustraram o Capítulo IV, esses dados foram considerados como planares. Considerando-os agora como lineares, elaborar novos diagramas de contorno.

## EXERCÍCIO IV.2 - TRATAMENTO DE DADOS

Os dados do arquivo TESTE2.TXT, existente no disquete fornecido, correspondem a um conjunto de 104 dados estruturais, escritos na notação Clar (Tab. IV.3). A partir do Gerenciador de Arquivo, cadastrar dois arquivos diferentes, com extensão ".STR", um para dados de feições "planares", outro para "lineares". Considerando a opção de dados como sendo "planares", elaborar diagramas estruturais e traçar guirlandas; repetir as mesmas operações acima, considerando os dados de TESTE2.TXT como correspondentes a feições "lineares". Comparar os resultados obtidos com os exemplos anteriores.

TABELA IV.3 - Medidas estruturais para resolução do Exercício IV.2. Dados do arquivo TESTE2.TXT

Plano ou Linha (Atitude Clar)									
110/80	103/80	95/73	64/58	348/62	86/70	341/66	15/57	90/75	100/76
108/81	330/70	96/70	74/64	350/60	88/69	340/65	98/74	324/67	330/70
106/80	331/72	97/72	75/65	118/82	92/72	318/78	93/75	328/75	6/60
107/82	302/89	99/74	120/89	120/85	90/70	331/68	115/86	344/62	7/58
100/77	302/87	360/58	122/89	310/83	322/75	335/69	322/71	333/72	8/55
101/78	312/81	358/60	35/60	312/85	320/75	26/56	88/72	82/75	9/56
90/70	310/79	10/59	38/60	318/75	326/70	45/57	320/72	96/70	95/76
94/72	40/56	12/63	34/56	320/77	325/72	70/62	332/68	95/72	330/70
102/77	41/58	336/67	35/60	325/74	20/56	306/87	5/58	348/60	45/60
104/80	80/77	338/70	50/58	325/70	22/60	328/69	95/70	112/81	70/60
103/81	82/72	60/60	52/60						

## EXERCÍCIO IV.3 - LANÇAMENTO DE DADOS ESTRUTURAIS

Com base nos dados da Tabela III.1 (Cap. III), elaborar diagramas estruturais e identificar os máximos estatísticos. Comparar com os resultados obtidos manualmente nos Exercícios 1 e 2 do Capítulo III.

## EXERCÍCIO IV.4 - TRAÇADO DE GUIRLANDAS

Com base nos dados da Tabela III.3 (Cap. III), elaborar diagramas estruturais e traçar a guirlanda correspondente. Comparar com os resultados obtidos manualmente no Exercício 3 do Capítulo III.

## Resultados dos Exercícios do Capítulo IV

1. Considerando os dados como sendo "lineares", a distribuição deixa de ser ao longo de uma guirlanda típica (ver Capítulo V), conforme se observa na Figura IV.14. Há maior dispersão dos dados, embora ainda seja esboçada uma guirlanda, cujos máximos estatísticos são menos bem definidos. Podem corresponder, por exemplo, a lineações dobradas segundo o eixo 50/12. O autovetor  $t_1$  situa-se próximo ao centro do estereograma (117/73), enquanto  $t_2$  tem atitude 313/16 e  $t_3 = 222/05$ .
2. Se os dados forem considerados "planares", eles distribuem-se numa guirlanda, podendo corresponder a uma dobra de eixo  $\pi$  N29E 56NE. Para "lineações", o diagrama corresponde a um círculo mínimo de pequena abertura, situado próximo ao centro da rede.
- 3 e 4. Tais questões acham-se resolvidas no Capítulo III. O tempo de processamento é notavelmente mais rápido, assim como eliminam-se eventuais erros de operação, muito comuns quando se elaboram diagramas manuais.

## SUMÁRIO DO CAPÍTULO IV

Este Capítulo apresentou as características principais de ESTER. Estudamos os fundamentos de operação do programa, os cuidados a serem tomados na organização e na edição de arquivos, na inclusão de dados e na elaboração dos vários tipos de saídas. Vimos que há, no mercado, capturadores de tela apropriados para registrar os estereogramas na forma de arquivos que, por sua vez, podem ser trabalhados com ferramentas de edição gráfica em outros programas. As saídas gráficas geradas pelo programa são limitadas a impressoras de nove agulhas no padrão Epson e traçadores gráficos Houston, que são adotados, por exemplo, nos *plotters* Digicon.