

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**SUCESSÕES RÍTMICAS DE FOLHELHOS E ROCHAS
CARBONÁTICAS COMO RESERVATÓRIOS DE
HIDROCARBONETOS**

Vanessa Faria de Paula

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF/2006 – 57)

SÃO PAULO

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Sucessões rítmicas de folhelhos e rochas carbonáticas
como reservatório de hidrocarbonetos**

Vanessa Faria de Paula



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Claudio Riccomini

Prof. Dr. Rômulo Machado

Prof. Dr. Marcelo Monteiro da Rocha

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024321

**SUCESSÕES RÍTMICAS DE FOLHELHOS E ROCHAS
CARBONÁTICAS COMO RESERVATÓRIOS DE
HIDROCARBONETOS**



Vanessa Faria de Paula

Orientador: Claudio Riccomini

de acordo

24/11/2006

MONOGRAFIA TRABALHO DE FORMATURA
(TF nº 57/2006)

SÃO PAULO
2006

Minha vida é andar por esse país
Pra ver se um dia descanso feliz
Guardando as recordações
Das terras onde passei
Andando pelos sertões
E dos amigos que lá deixei
Mar e terra, inverno e verão
Mostro o sorriso
Mostro alegria, mas eu mesmo não
E a saudade no coração
(Vida de viajante -Luiz Gonzaga)

Resumo

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um método para calcular o volume de vazios em maciço fraturado, para avaliar seu potencial como reservatório. O estudo foi motivado pela ocorrência de hidrocarbonetos em ritmitos permianos da Formação Assistência, Bacia do Paraná, compostos pela alternância de folhelhos pirobetuminosos e carbonatos, rocha geradora e potencial reservatório, respectivamente.

O método consistiu na elaboração de modelos teóricos de sistemas de juntas de cisalhamento e ortogonais de distensão, para os quais foram calculados os volumes de vazios, mediante a determinação dos comprimentos das juntas em planta e seção, seus espaçamentos e aberturas. Estes procedimentos foram aplicados em blocos de amostragens representativos, que correspondem à frações dos modelos.

Os resultados obtidos nos blocos de amostragem e modelos foram compatíveis, indicando a possibilidade de aplicação do método de cálculo de potencial reservatório a partir de amostras do maciço.

A escolha do bloco de amostragem representativo do maciço é o fator determinante para confiabilidade dos resultados. A seleção, dimensionamento e definição do bloco de amostragem dependem da identificação dos *sets* de juntas e a proporção em que ocorrem, densidades lineares dos *sets*, as dimensões horizontais, verticais e da abertura dessas estruturas.

O método foi aplicado em exposição de ritmito da Formação Assistência, nos arredores de Paraisolândia, SP, tendo sido obtido um valor de $5,59 \times 10^{-3} \text{m}^3$ de vazios em juntas para cada metro cúbico de rocha, que corresponde a um volume mínimo de armazenamento do potencial reservatório de rochas carbonáticas.

Abstract

The occurrence of hydrocarbons in Paleozoic rhythical successions of black shale and lime-mudstones of the Assistencia Formation, Paraná Basin, has motivated the development of a method to evaluate the fracture porosity in joints of carbonate rock massifs and its capacity as reservoir. The study comprised the elaboration of theoretical models of shear and grid-lock extensional joint pattern distribution and the estimation of fracture porosity using the joint length, spacing and aperture. These procedures were applied to representative sampling blocks of the models. Results obtained from sampling blocks and the models were compatible indicating the applicability of the estimation method from samples to the whole rock massif.

The choice of a representative sampling block is the main factor controlling the confidence of results. The selection, size and definition of the sampling block is based on the identification of joint sets and its proportion of occurrence, linear density, length and aperture of these fractures.

The method was applied to a rock exposure of rhythmite of the Assistência Formation in an abandoned quarry in the surround of Paraisolandia, São Paulo State. A volume of $5,59 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ of pores in joints per cubic meter of carbonate rock was obtained for the massif, which corresponds to its minimum storage potential.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVO.....	2
3	FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1	Definição de junta e conceitos fundamentais	2
3.2	Geologia da área	6
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
5	DESENVOLVIMENTO.....	10
5.1	Elaboração de modelos teóricos	10
5.2	Procedimentos de amostragem de descontinuidades e do cálculo de volume de reservatório nos modelos teóricos de distribuição de juntas	12
5.3	Procedimento de campo para amostragem de fraturas	17
5.4	Aplicações das simulações	18
6	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	19
6.1	Representatividade da amostragem de juntas em seções com diferentes orientações..	19
6.2	Cálculo das áreas das juntas e estimativas de volume de vazios.....	22
6.3	Teste com dados de campo	26
7	CONCLUSÕES.....	31
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

FIGURAS

Figura 1.1 – Mapa de localização e acesso a área estudada

Figura 3.1 – Classificação das juntas em função do ângulo 2θ

Figura 3.2 – Propagação de juntas em camadas de competência distintas

Figura 3.3 – Fraturamento em grade

Figura 3.4 – Mapa geológico da área de estudo

Figura 3.5 – Subdivisão litoestratigráfica do Subgrupo Irati

Figura 5.1 – Modelo de distribuição de juntas de cisalhamento

Figura 5.2 – Modelo de distribuição de juntas ortogonais de distensão

Figura 5.3 – Bloco de amostragem

Figura 5.4 – Cálculo do comprimento das juntas em seção

Figura 6.1 – Gráfico de volume versus abertura obtido para o modelo de cisalhamento

Figura 6.2 – Gráfico de volume versus abertura obtido para o modelo de juntas ortogonais

Figura 6.4 – Volume obtido para os dados de campo

FOTOS

Foto 5.1 – Seleção das juntas para medição de abertura (Amostra IP-01)

Foto 6.1 – Intercalação rítmica de folhelho e dolomito (Membro Ipeúna).

Foto 6.2 – Junta preenchida com betume

Foto 6.3 – Juntas nas camadas de dolomitos não se propagam nas intercalações de folhelhos

Foto 6.3 – Juntas da família NW

Foto 6.4 – Juntas de cisalhamento, em destaque o ângulo 2θ

Foto 6.5 – Propagação da junta na camada de dolomito

Foto 6.6 a - Captura da abertura da junta

Foto 6.6 b – Distância medida entre as faces da junta

TABELAS

Tabela 6.1 – Dados das seções no modelo de juntas de cisalhamento

Tabela 6.2 – Dados das seções no modelo de juntas ortogonais de distensão

Tabela 6.3 – Cálculo da área das juntas para o modelo de juntas de cisalhamento

Tabela 6.4 – Cálculo da área das juntas para o modelo de juntas ortogonais de distensão

Tabela 6.5 – Dados de juntas obtidos no campo – densidade linear

ANEXOS

Anexo 1 – Dados do modelo de juntas de cisalhamento

Anexo 2 – Seções do modelo de juntas de cisalhamento

Anexo 3 – Dados do modelo de juntas ortogonais de distensão

Anexo 4 – Seções do modelo de juntas ortogonais de distensão e seções

Anexo 5 – Histogramas de espaçamento do modelo de juntas de cisalhamento e BAC

Anexo 6 – Histogramas de espaçamento do modelo de juntas ortogonais e BAO

Anexo 7 – Conceitos usados de estatística

Anexo 8 – Dados obtidos para o bloco de amostragem do modelo de juntas de cisalhamento – BAC

Anexo 9 – Dados obtidos para o bloco de amostragem do modelo de juntas ortogonais de distensão – BAO

Anexo 10 – Dados de campo (tabelas, gráficos, fotos)

Anexo 11 – Fotos das aberturas das juntas e as medidas obtidas

1 Introdução

O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um método para o cálculo do volume de vazios em maciços rochosos fraturados, visando à avaliação do potencial reservatório.

O estudo foi motivado pelas ocorrências de hidrocarbonetos em ritmitos com alternância de folhelhos e carbonatos, com exemplos reconhecidos no registro geológico neoproterozóico e fanerozóico do Brasil. Embora alguns trabalhos tenham sido dedicados ao estudo dos folhelhos como rochas geradoras, quase nenhuma atenção foi dada às rochas carbonáticas como potenciais reservatórios. Isso se deve ao fato de não ter sido reconhecida antiga feição de dissolução (paleocarste), tipologia característica dos reservatórios em rochas carbonáticas.

Em função do comportamento geomecânico diferenciado, o folhelho e a rocha carbonática tendem a apresentar resposta dúctil e rúptil, respectivamente, aos diferentes tipos de esforços, resultando em maciços rochosos com forte anisotropia horizontal em termos de permoporosidade. As discontinuidades formadas nas rochas carbonáticas podem apresentar espaços apreciáveis para acúmulo de hidrocarbonetos.

O estudo das discontinuidades permite calcular o volume aproximado de vazios a serem preenchidos por hidrocarbonetos no maciço fraturado, sendo necessário o reconhecimento e classificação dessas estruturas. No presente estudo emprega-se o termo junta no sentido de Hancock (1985), ou seja, uma fratura com abertura estreita, que não apresenta indícios de deslocamento (cisalhamento, dilatação, compressão) em escala de afloramento.

A partir dos conceitos sobre a formação, distribuição e geometria das juntas buscou-se informações para estabelecer condutas para o dimensionamento espacial das juntas em um maciço.

A aplicação da metodologia desenvolvida foi efetuada em exposição de ritmito, composto por intercalações de folhelhos e calcilutitos dolomitizados, da Formação Assistência, no âmbito do Anticlinal de Pitanga (Bacia do Paraná) situada nos arredores de Paraisolândia, Município de Charqueada (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Mapa de localização e acesso a área estudada

2 Objetivo

Este trabalho teve como objetivo estabelecer um procedimento para avaliar o potencial reservatório em rochas fraturadas, sendo que a área alvo de aplicação deste procedimento foram as rochas carbonáticas da Formação Assistência (Subgrupo Irati, Bacia do Paraná), como potencial reservatório de hidrocarbonetos, oriundos dos folhelhos pirobetuminosos intercalados.

3 Fundamentação bibliográfica

3.1 Definição de junta e conceitos fundamentais

Os diversos estudos existentes sobre as juntas permitem concluir que estas descontinuidades são importantes ferramentas para inferir o estado de tensões e o comportamento mecânico das rochas, podendo contribuir para o entendimento da história geológica de uma dada região.

As juntas são estudadas há séculos e muitas das controvérsias sobre sua definição, formação e interpretação podem ser atribuídas aos dados geológicos incompletos e à falta da estrutura conceitual (Aydin & Pollard 1988).

O termo junta é empregado desde o século XVIII e diferentes definições foram propostas por diversos autores, destacando-se, dentre estas, as de Hancock (1985) e Pollard & Aydin (1988). Hancock (1985) definiu a junta como sendo uma fratura, com abertura estreita, que em escala de afloramento não permite detectar nenhuma evidência de deslocamento relacionado a cisalhamento, dilatação ou compressão. Pollard & Aydin (1988) basearam-se nos princípios de fraturamento mecânico para propor o uso do termo junta, de forma mais restrita, para estruturas com evidência de campo de deslocamento de abertura,

nas quais é possível identificar a marca de deslocamento, textura superficial e preenchimento; na ausência de feições comprobatórias, os autores sugerem a aplicação do termo fratura.

O termo família de juntas é utilizado para designar as juntas com direções subparalelas. O termo *set* de junta, por sua vez, e aqui aplicado a um conjunto de juntas com orientação angular preferencial e relacionado a uma tendência estrutural regional. O conjunto de juntas pertencente a um *set* pode apresentar uma variação angular em torno de 10° (Dunne & Hancock 1994). A presença de dois ou mais *sets* compreendem os sistemas de juntas.

As juntas apresentam diferentes categorias genéticas, podendo ser classificadas a partir do ângulo 2θ e pelo estilo de arquitetura do sistema de juntas (Hancock 1985, Dunne & Hancock 1994). O ângulo 2θ é dado pelo intervalo de variação nas direções dos *sets* de junta (Figura 3.1). Por exemplo, num *set* de juntas de distensão, o ângulo entre as juntas pode variar de 1 a 10° (Figura 3.1c). Caso ultrapasse este intervalo, a junta passa a ser considerada híbrida, apresentando o ângulo 2θ com variação de 11 a 50° (Figura 3.1a). Para ângulos 2θ superiores a 50° as juntas são consideradas de cisalhamento (Figura 3.1b).

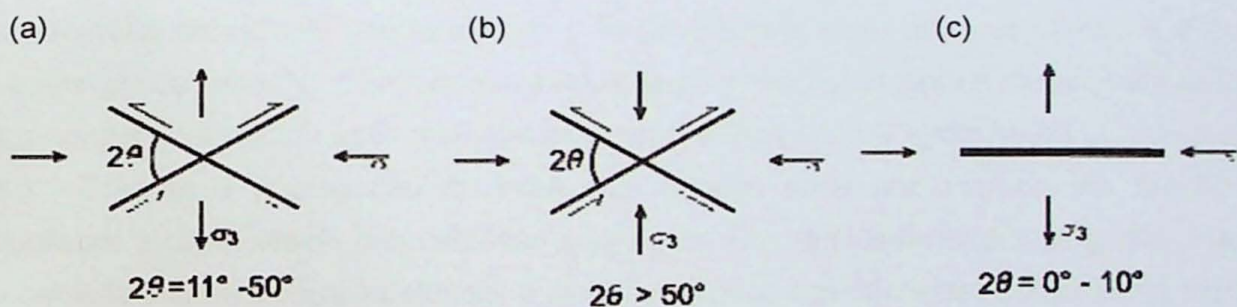


Figura 3.1 – Classificação das juntas em função do ângulo 2θ . (a) Juntas híbridas; (b) Juntas de cisalhamento; (c) Juntas ortogonais de distensão.

A arquitetura do sistema de juntas num maciço rochoso é definida pela relação espacial entre elas. Em planta ou perfil, as juntas podem ser visualmente caracterizadas pela forma de letras maiúsculas do alfabeto latino: I, T, H, V, Y, X, e A. As juntas de distensão são caracterizadas pelas letras T, I e H, enquanto as juntas de cisalhamento e híbridas pelas letras V, X e A.

As juntas apresentam três características físicas básicas: (1) são fraturas compostas por duas superfícies paralelas que se encontram na frente de propagação; (2) as superfícies são aproximadamente planares; e (3) o deslocamento relativo dos pontos originalmente adjacentes, separados pela abertura da junta, é pequeno quando comparado ao seu comprimento. As juntas são comumente idealizadas como lisas contínuas e planares. Entretanto, quase todas as juntas possuem alguma rugosidade, descontinuidade e ocasionais curvas e quebras (Pollard & Aydin 1988).

A forma e dimensão de uma junta são controladas pela geometria e arcação do maciço, pela litologia, intensidade da deformação e espessura das camadas. As juntas podem, dependendo da litologia, permanecer confinadas ou propagar-se com diferentes orientações e espaçamentos, em razão dos diferentes graus de competência entre as camadas adjacentes.

A intercalação de camadas com competências distintas é o principal causador da anisotropia existente nos maciços, podendo alterar o espaçamento e orientação das juntas (Hobbs 1967). A influência da anisotropia é facilmente observada em sucessões sedimentares que alternam camadas com diferentes níveis de competência. Pode-se notar que, a partir da atuação do esforço principal constante, o modo de ocorrência das juntas é variável de uma camada para outra.

Analisando o comportamento de um maciço anisotrópico com atuação do esforço principal (σ_1) perpendicular à anisotropia, Peacock & Sanderson (1992) constataram que nas camadas competentes ocorrem aberturas de juntas e outras estruturas de maior magnitude, enquanto nas camadas menos competentes o esforço é absorvido em deformações do corpo, sem a tendência de formar estruturas planares.

Em maciços anisotrópicos a junta possui duas opções de propagação. A propagação transversal à anisotropia ocorre quando a força existente entre as duas camadas é maior que energia da junta. No caso em que a força de propagação da junta é menor, esta tende a se propagar ao longo da interface entre as camadas (Helgeson & Aydin 1991).

Durante a propagação da junta, sua direção pode ser alterada em função da espessura e competência das camadas adjacentes. Em ritmos formados pela intercalação de camadas de mesma competência, a junta se propaga nas diferentes camadas no mesmo plano (Figura 3.2a). Em sucessões com intercalação de camadas de competência distintas, as juntas se propagam limitadas pelas camadas de maior competência, ocorrendo deslocamento nos planos de propagação (Figura 3.2b). Os deslocamentos dos planos de propagação das juntas tendem a aumentar com o espessamento das camadas mais competentes (Figura 3.2c).

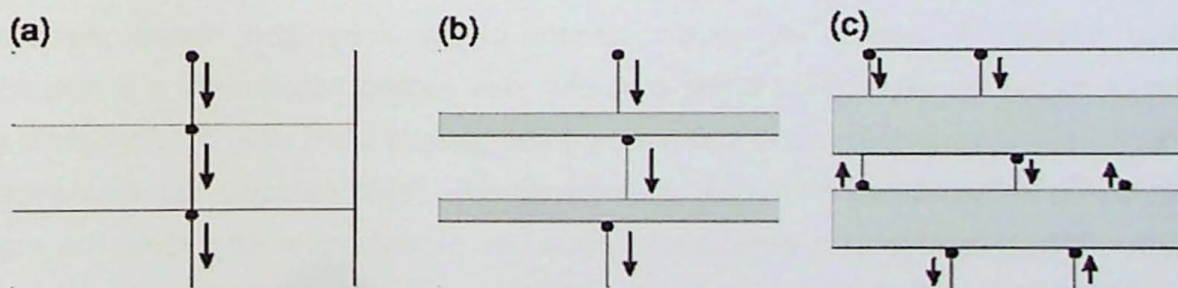


Figura 3.2 – Propagação de juntas em maciço anisotrópico. (a) em intercalação de camadas de mesma competência a junta se propaga nas camadas com a mesma direção de propagação; (b) em intercalação de camadas com competências distintas a junta se propaga apenas nas camadas com menor competência e com um pequeno deslocamento na direção de propagação; (c) conforme aumenta a espessura da camada menos competente aumenta o deslocamento da direção de propagação das juntas (retirado de Helgeson & Aydin, 1991).

Outra característica importante a ser abordada é o espaçamento entre as juntas. Esta característica auxilia no estudo do padrão de distribuição das juntas de um determinado *set*. Alguns autores (Ladeira & Price 1981, Rives *et al.* 1992) consideram que o espaçamento das juntas em rochas sedimentares é determinado principalmente por três fatores: as espessuras das camadas, a litologia, e a intensidade da deformação. Outros autores (e.g. Pollard & Aydin 1988) constataram que: (1) dois *sets* de juntas pertencentes à mesma camada de rocha apresentam freqüentemente espaçamentos distintos; (2) em tipos de rochosos distintos, mas com espessuras comparáveis, o espaçamento das juntas pode ser diferente; e (3) o espaçamento das juntas pode mudar de acordo com o campo de esforços.

A densidade das juntas (D) é usualmente relacionada com o espaçamento em que ocorrem e descrita a partir do número de juntas por unidade linear de rocha ou uma área determinada (v.g. Dunne & Hancock 1994, Zhang *et al.* 1992).

A conectividade das juntas está relacionada diretamente com a densidade (D), comprimento médio (L) e orientação dos *sets* identificados (θ). A razão de conectividade (C) relaciona o número de juntas conectadas por número total de juntas (conectadas e não conectadas) de um maciço rochoso ou uma área determinada. A razão de conectividade aumenta em função do aumento do índice de conectividade (n_0), sendo este o produto da interação do comprimento da junta, densidade e orientação ($n_0 = L.D.\theta$). Os resultados experimentais e dados de campo obtidos por Zhang *et al.* (1992) mostraram uma boa correlação entre a razão e o índice de conectividade.

A formação de juntas distensionais requer menor magnitude no campo de tensão do que as juntas de cisalhamento e, por esta razão, as juntas distensionais tendem se formar anteriormente às demais.

Os sistemas de juntas distensionais são caracterizados por dois *sets* de juntas perpendiculares, que se interceptam e truncam um ao outro, dando a configuração conhecida como "fraturamento em grade" (Figura 3.3.) ou simplesmente *sets* de juntas ortogonais. O fraturamento em grade sugere que os dois *sets* de juntas ortogonais são coexistentes, sendo originados sob o mesmo campo de tensão. A relação entre o truncamento e a intersecção destes *sets* reforça a teoria da geração contemporânea das juntas ortogonais. A idéia mais consagrada para explicar a ocorrência de juntas ortogonais foi apresentada por Caputo (1995), que considera a alternância das posições do campo de esforços em função de respostas ao seu acondicionamento pela competência do maciço, sem, no entanto, existir mudança na posição da tensão principal. As características das juntas ortogonais que contribuem para defender a contemporaneidade também apóiam à teoria de alternância dos esforços, sendo sugerida a formação de uma junta perpendicular a uma outra, previamente formada, em razão da necessidade do maciço em compensar os

esforços aos quais está submetido, mediante a abertura de planos de fraquezas em direções dispostas ortogonalmente.

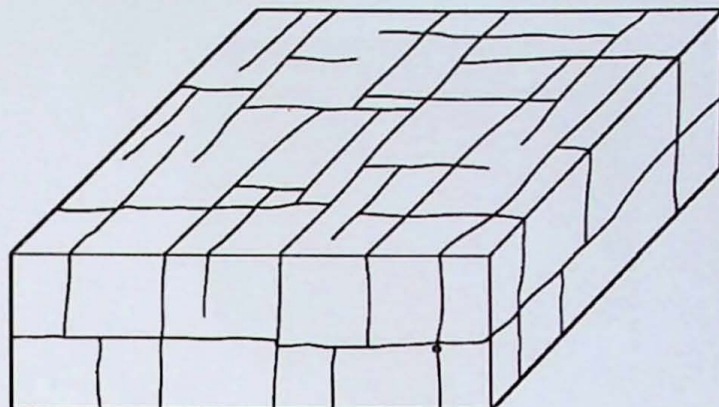


Figura 3.3 – Fraturamento em grade (retirado de Dunne & Hancock, 1994).

3.2 Geologia da área

A área em estudo insere-se no contexto geológico do Anticlinal de Pitanga (Riccomini 1995), onde ocorrem as rochas sedimentares neopaleozóicas do Grupo Tubarão (Subgrupo Itararé e Formação Tatuí) e do Grupo Passa Dois (Subgrupo Irati e Formação Corumbataí), além das rochas mesozóicas do Grupo São Bento (Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral).

A exposição estudada é uma pedreira abandonada está localizada nos arredores de Paraisolândia, Município de Charqueada, onde ocorre exposição da Formação Assistência. A designação estratigráfica adotada neste trabalho segue a proposta de Hachiro *et al.* (1993), detalhada em Hachiro (1996), onde a até então denominada Formação Irati é elevada à categoria de subgrupo, sendo dividido nas formações Taquaral (inferior) e Assistência (superior), esta última subdivida nos membros Morro do Alto (inferior) e Ipeúna (superior), conforme ilustrado na Figura 3.4, correspondente ao mapa geológico da região abordada.

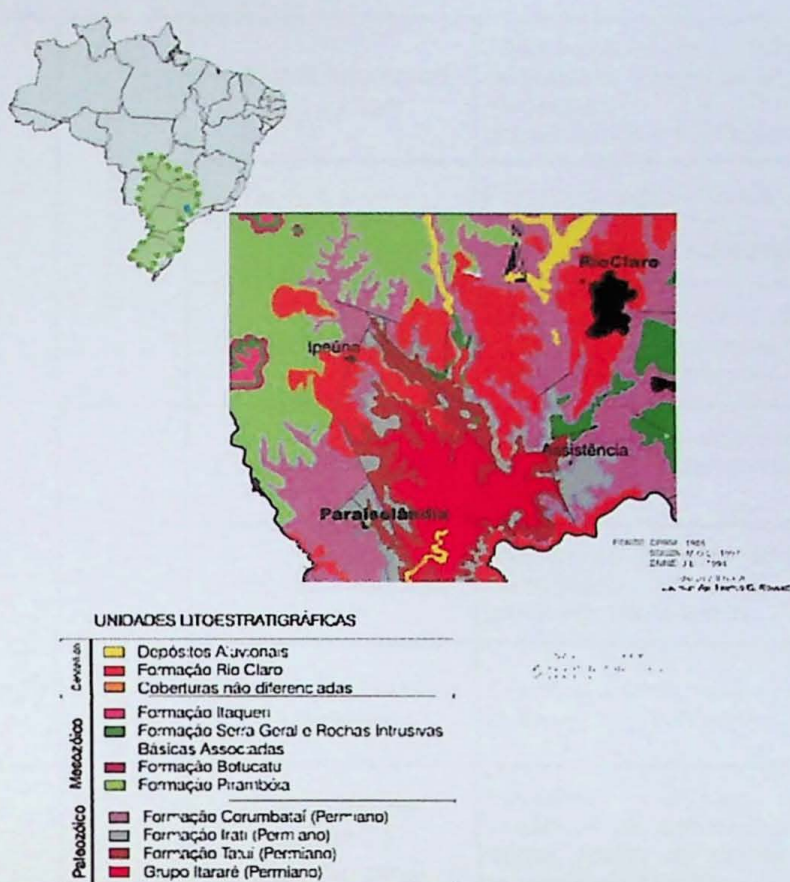


Figura 3.4 – Mapa geológico da área de estudo (modificado de CPRM, 1986)

A Formação Taquaral é constituída de folhelhos siltico-argilosos, cinza-escuros, não betuminosos, empastilhados na base por alteração, apresentando intercalações de lentes carbonáticas e nódulos de sílex. Segundo Hachiro (1996), nas bordas nordeste, norte e oeste da bacia são encontrados arenitos conglomeráticos, com clastos de sílex e quartzito e arenitos finos, quartzosos, que gradam para lamitos. A Formação Assistência é constituída principalmente pelos pacotes de folhelhos pretos pirobetuminosos intercalados com dolomitos.

O Membro Morro do Alto apresenta uma sucessão, da base para o topo, composta de folhelhos argilosos pirobetuminosos de cor preta na base, sobrepostos por camada de brechas evaporíticas (anidrita e gipsita). Na porção intermediária encontram-se ritmitos constituídos pela alternância de leitos siliclásticos e carbonáticos, formando pares sucessivos folhelho-dolomito. Os folhelhos são argilo-siltosos betuminosos e micáceos. No topo da unidade encontra-se a Camada Laje Azul, formada por lamitos arenosos, glauconíticos, fossilíferos, de cor cinza-esverdeado. A sucessão sedimentar do Membro Morro Alto foi subdividida em quatro fácies, conforme indicado na coluna estratigráfica (Figura 3.5).

Subgrupo Irati	Fm. Assistência	Membro Ipeúna	Ritmitos espessos Superiores	Alternância de folhelhos e carbonatos. Folhelhos argilo-siltosos (espessos) e calcilutitos dolomitizados e silicificados
			Ritmitos delgados	Folhelhos argilo-siltosos (delgados) intercalados por calcilutitos dolomitizados e silicificados
			Camada Bairrinho	Banco de carbonatos dolomíticos. Apresenta diferentes fácies, dolomíticas, doloarenitos
		Membro Morro do Alto	Camada Laje Azul	Folhelhos silticos-argilosos e siltitos arenosos, glauconíticos e fossilíferos.
			Ritmitos inferiores	Alternância de leitos siliciclástico e carbonático, formando pilhas de pares folhelho-dolomito
			Camada de brechas evaporíticas	Gipsita e anidrita associada à silexito e dolomitos silicificados
			Camadas de folhelhos betuminosos	Folhelhos pretos, argilosos, micáceos e betuminosos, podem conter restos de peixes e troncos vegetais silicificados.
	Fm. Taquaral		Folhelhos silticos-argilosos, cinza escuros e não-betuminosos, subordinadamente ocorrem leitos lentiformes de arenitos conglomeráticos.	

Figura 3.5 – Subdivisão litoestratigráfica do Subgrupo Irati (modificada de Hachiro, 1996).

Já o Membro Ipeúna, segundo Hachiro (1996), é formado em sua base por um banco de carbonatos dolomíticos, composto de dololutitos laminados e doloarenitos finos a médios, estratificados e, subordinadamente, delgados níveis de brecha carbonática intraformacional, sendo freqüente a presença de nódulos de sílex. Na porção intermediária encontram-se folhelhos argilo-siltosos, pirobetuminosos, que se intercalam ritmicamente com leitos de calcilutitos dolomitizados, parcialmente silicificados, ocorrendo também subordinadamente nódulos e lentes de sílex. No topo da unidade encontram-se alternâncias rítmicas de folhelhos argilo-siltosos (espessos) e calcilutitos dolomitizados e silicificados, que diferem dos ritmitos inferiores Membro Morro do Alto) nas espessuras, aproximadamente 3 a 4 vezes maiores do que nestes, e também pela forma dos estratos, em partes lenticulares (Hachiro 1996). Os ritmitos estudados estão enfeixados no Membro Ipeúna, acima da Camada Laje Azul.

Os folhelhos do Subgrupo Irati atingiram, em alguns casos, a janela de maturação de geração de óleo, tanto pelo soterramento adequado quanto por efeitos termais associados ao evento magmático eocretáceo da Formação Serra Geral (Zalán *et al.* 1991). O primeiro processo foi reconhecido somente na região da calha central, enquanto o segundo apresenta distribuição mais generalizada (Araújo *et al.* 2005, Sant'Anna *et al.* 2006). As

intrusões de diques e *sills* produziram anomalias no gradiente geotérmico e no grau de maturação de geração de óleo.

Na área investigada, as discontinuidades potencialmente ocupáveis por hidrocarbonetos nos dolomitos das sucessões rítmicas do Membro Ipeúna da Formação Assistência são aquelas geradas em eventos precedentes ou no máximo concomitantes ao magmatismo eocretáceo. Do ponto de vista tectônico, no Anticlinal de Pitanga foram caracterizados diferentes episódios de deformação no preenchimento sedimentar e vulcânico da Bacia do Paraná. Riccomini (1992, 1995) reconheceu pelo menos seis episódios de intensa deformação tectônica, compreendidos entre o final do Paleozóico e o Quaternário. O primeiro evento esteve relacionado à compressão NE-SW a N-S, de idade neopaleozóica a eotriássica. O segundo evento compreendeu uma distensão de direção NE-SW, associada à colocação de diques e extrusão de monumental volume de lavas basálticas da Formação Serra Geral, de idade eocretácea (v.g. Turner *et al.* 1994). Os quatro eventos mais novos, compreendendo, sucessivamente, compressão de direção NW-SE, compressão NE-SW, distensão NW-SE e compressão NW-SE, afetaram os derrames basálticos e rochas intrusivas associadas.

4 Materiais e métodos

A execução do presente trabalho compreendeu uma etapa de desenvolvimento teórico, seguida de um teste de aplicação um caso real de campo.

O desenvolvimento teórico foi lastreado em consulta bibliográfica para construir a base conceitual da pesquisa. Em seguida foram desenvolvidos modelos teóricos, consistindo na elaboração de cenários hipotéticos de distribuição de juntas de cisalhamento e ortogonais, seguindo os conceitos de geração e desenvolvimento de padrões de estruturas da literatura.

Os objetivos da elaboração dos modelos teóricos contemplaram a visualização tridimensional das discontinuidades, bem como a avaliação das simulações de amostragem e da representatividade do fraturamento em diferentes seções no espaço, de modo a obter estimativas dos volumes de espaços vazios.

A partir dos resultados obtidos procurou-se estabelecer critérios a serem adotados no levantamento de campo.

No levantamento de campo foram cadastradas as estruturas identificadas, compreendendo atitudes de juntas e de camadas sedimentares. As informações coletadas no campo foram, além das atitudes das discontinuidades, os padrões de distribuição, dimensões, continuidades, densidade linear e aberturas, segundo critérios estabelecidos na literatura (v.g. Pollard & Aydin 1988, Dunne & Hancock 1994), bem como os definidos a partir dos resultados do modelo adotado na fase de desenvolvimento teórico deste trabalho.

5 Desenvolvimento

5.1 Elaboração de modelos teóricos

A etapa inicial dos trabalhos compreendeu a elaboração de dois modelos teóricos de distribuição de juntas, sendo um de juntas de cisalhamento e outro de juntas ortogonais de distensão, considerando os conceitos e padrões estabelecidos por Hancock (1985) e Caputo (1995), respectivamente.

Cada um dos modelos compreendeu a geração de 100 dados (atitudes) de juntas, no intuito de facilitar o tratamento estatístico. As juntas foram projetadas em planta, de forma aleatória, desconsiderando qualquer padrão de distribuição em área, comprimento, espaçamento e conectividade (intersecção).

Além das características das juntas e de suas distribuições no modelo, ainda foram assumidas as premissas de que as juntas são contínuas, regulares, lisas e planares, de modo que assumem no modelo formas geométricas de polígonos com, no máximo, seis lados.

Os dois modelos teóricos foram elaborados a partir da projeção das 100 atitudes de juntas em um cubo, o qual, por convenção, possui lados de 1,5 x 1,5 unidades lineares. Para efeito de ilustração dos cubos dos modelos teóricos, são apresentadas figuras do lado superior do cubo, onde as juntas são representadas pelas suas projeções em planta.

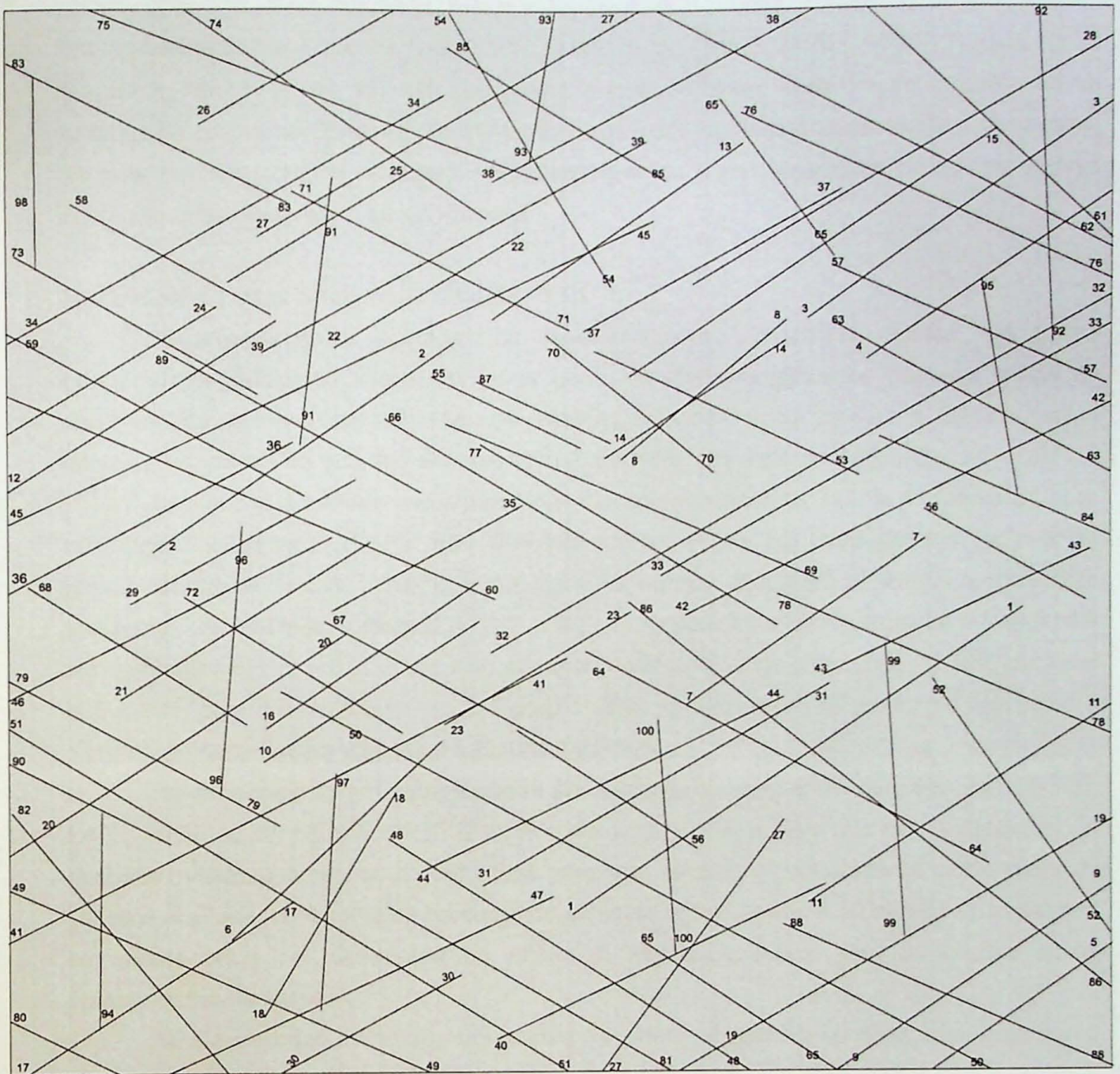
Modelo para juntas de cisalhamento

No modelo de juntas de cisalhamento foram considerados 3 *sets* de juntas, com direções ENE, WNW e N-S. As juntas dos *sets* ENE e WNW apresentam direções variando entre 55° a 65° e constituem os *sets* principais do modelo.

As juntas do *set* N-S ocorrem em menor proporção, representando juntas cruzadas, que possuem dispersão nas direções em torno de 10°.

Os mergulhos adotados para todos os *sets* de juntas são subverticais e apresentam variação de 75° a 89°. As atitudes das juntas de cisalhamento estão apresentadas na Tabela 1 (Anexo 1). A plotagem das juntas em planta pode ser observada na Figura 5.1, tendo sido distribuídas na proporção de 47% para o *set* ENE, 43% para WNW e 10% para o *set* N-S.

Os dados de juntas do modelo foram inseridos no programa Steronet (versão 2.46) e plotados no estereograma como diagramas e pólos. Foram gerados gráficos de densidade, diagramas de rosetas e também foram determinadas as atitudes médias para cada *set* (Figura 1, Anexo 1). Todos os diagramas apresentados foram confeccionados com base na rede de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior de referência.



Legenda

16 Juntas

A—A' Seções

A—A' Seções perpendiculares as direções médias dos set

Figura 5.1 - Modelo de distribuição de juntas de cisalhamento

No intuito de reconhecer as seções mais adequadas para obter o levantamento das distribuições das juntas em perfis, foram estabelecidas 9 seções, nomeadas de A-A' até I-I', respectivamente nas direções N-S, N10E, N45E, E-W, N75W, N45E, N10W, N30W, N30E (Figura 2, Anexo 1). As atitudes das juntas encontradas em cada seção também foram tratadas no programa Steronett, sendo também gerados gráficos de densidade e diagramas de rosetas, bem como a plotagem em estereogramas e os respectivos pólos. As seções confeccionadas encontram-se no Anexo 2.

Modelo para juntas ortogonais de distensão

Os procedimentos adotados no desenvolvimento do modelo teórico das juntas ortogonais de distensão foram, de modo geral, os mesmos aplicados para as juntas de cisalhamento, apenas com variação nas relações angulares entre os *sets* de juntas. Foram gerados 100 dados de atitudes em dois *sets* ortogonais, nas direções N-S e E-W.

As atitudes adotadas neste modelo estão apresentadas na Tabela 1 (Anexo 3), com amplitudes de variação de 10° nas direções das estruturas em cada *set*. No *set* N-S as juntas variam de N05W a N05E e no *set* E-W variam de N85E a N85W, ambos com mergulhos subverticais, variando de 81° a 89°. A configuração das estruturas em planta é apresentada na Figura 5.2, tendo sido adotada a distribuição na proporção de 70% para *set* N-S e 30% para o E-W. No Anexo 3, Figura 1 estão apresentadas as projeções dos pólos e digrama de densidade e rosetas e a Figura 2 o bloco.

Neste modelo foram estabelecidas oito seções, nas seguintes direções: N-S, N10E, N45E, N85E, E-W, N85W, N45W e N10W. As seções N-S e E-W são perpendiculares às direções médias dos *sets* do modelo. Elas permitem calcular o espaçamento médio entre as juntas e auxiliam na escolha do tamanho do bloco de amostragem. A localização das seções em planta pode ser observada no Anexo 3, Figura 2, sendo que as seções estão apresentadas no Anexo 4.

As atitudes das estruturas do modelo de juntas ortogonais de distensão, bem como as atitudes obtidas nas seções, foram inseridas no programa Steronett (versão 2.46) e também receberam o mesmo tratamento adotado ao modelo de cisalhamento. Os estereogramas, diagramas e gráficos estão apresentados nas seções.

Com base nas seções N-S e E-W, ortogonais aos *sets*, foram calculadas as densidades lineares das juntas, o espaçamento médio e gerados histogramas para tratamento dos dados.

O objetivo principal desta atividade foi buscar elementos para estabelecer seções representativas do levantamento de estruturas e, com isso, criar critérios para execução destes levantamentos no campo. O critério utilizado para estabelecer a direção das seções considerou desde cortes aproximadamente paralelos às principais estruturas do modelo, direções intermediárias, até direções perpendiculares às estruturas. As seções

perpendiculares às direções médias de cada *set* permitiram determinar o espaçamento médio entre as juntas do *set* em questão.

O espaçamento médio entre as juntas nos modelos foi calculado a partir da seção perpendicular à direção média dos *sets*, relacionando a moda da distância entre as juntas multiplicada pelo seno do ângulo formado entre a direção da junta e a seção, conforme indicado na equação a seguir :

$$S_{set} = dm \times \text{seno } \alpha \quad (1)$$

onde:

S – espaçamento médio entre as juntas

dm – distância média entre as juntas

α – ângulo formado entre direção da junta e a seção

(Retirado ISRM, 1978)

Para a atividade desenvolvida foi considerada a média, pois esta pode eliminar erros quando se tem múltiplas modas ou uma moda pouco definida. Para o tratamento dos dados de espaçamento foram gerados histogramas, comparando o espaçamento obtido no modelo com o bloco de amostragem para ambos os modelos de distribuição de juntas, conforme mostrado no Anexo 5 (modelo de juntas de cisalhamento) e Anexo 6 (modelo de juntas ortogonais).

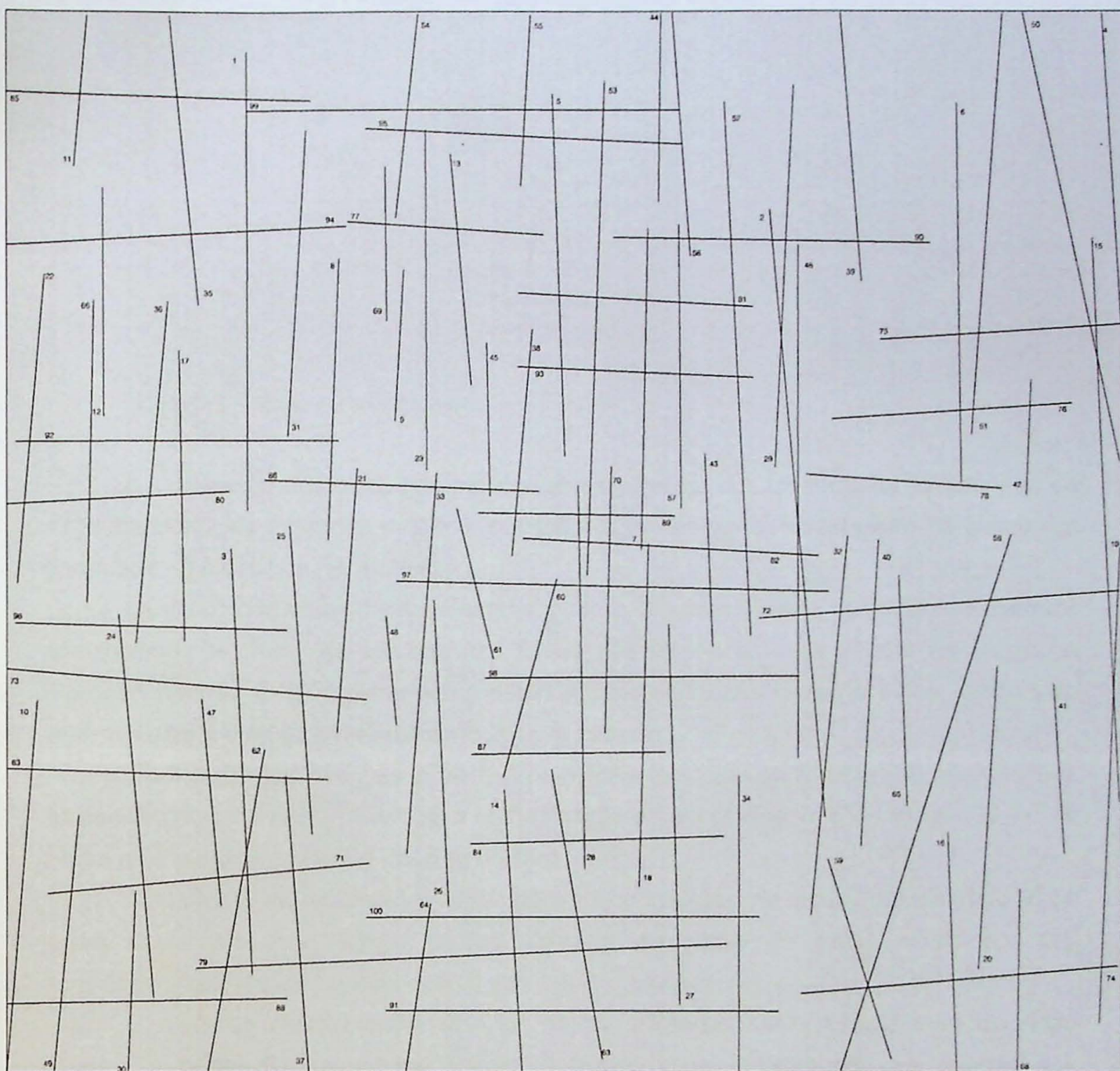
O espaçamento entre as juntas também pode ser expresso pela densidade linear, ou seja, número de juntas por unidade de comprimento. O espaçamento e a densidade linear são parâmetros importantes a serem avaliados na definição do tamanho bloco de amostragem.

5.2 Procedimentos de amostragem de descontinuidades e do cálculo de volume de reservatório nos modelos teóricos de distribuição de juntas

A metodologia desenvolvida para auxiliar no cálculo do volume das descontinuidades (juntas) nos modelos consistiu na determinação de um bloco de amostragem visando, a partir desta “fração”, extrapolar para toda a extensão do modelo. Outros objetivos da adoção do bloco de amostragem foram os de avaliar a representatividade dos resultados obtidos, bem como a metodologia de cálculo utilizada para obtenção das áreas das juntas.

Neste estudo, os modelos representariam a condição de todo um maciço fraturado e os blocos de amostragem seriam as informações obtidas em escala de afloramento, que seriam extrapoladas para representar o maciço.

No procedimento adotado, os blocos de amostragem foram definidos no formato de um cubo, conforme ilustra a Figura 5.3, apresentando lados com uma área de 0,5 x 0,5 unidade linear (0,25 unidade de área), ou seja, uma fração de 1/27 do cubo do modelo. Os blocos de amostragens serão doravante designados de bloco de amostragem do modelo de



Legenda

16 Juntas

A—A' Seções

A—A' Seções perpendiculares as direções médias dos set

Figura 5.2 - Modelo de distribuição de juntas ortogonais de distensão

juntas de cisalhamento (BAC) e bloco de amostragem do modelo de juntas ortogonais de distensão (BAO).

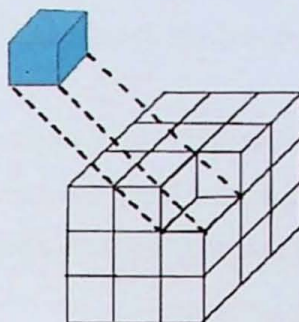


Figura 5.3 – Bloco de amostragem

A localização dos blocos de amostragem no interior dos modelos foi selecionada de modo aleatório, no intuito de avaliar e comparar o percentual de distribuição de juntas e a densidade no bloco com os modelos.

Os blocos de amostragens incluíram planos de juntas inteiras ou parciais existentes nos modelos teóricos. As atitudes das juntas dos blocos foram inseridas no programa Steronett (versão 2.46) e plotados no estereograma como diagramas e pólos, tendo sido determinadas a direção e mergulho médio para cada *set*.

Com base nas direções e mergulhos médios de cada *set* foram realizadas seções perpendiculares no BAC e BAO para determinação do espaçamento e densidade linear da juntas para o bloco, conforme descrito no item 5.1.

A avaliação da representatividade do bloco em relação ao modelo de distribuição de juntas deve considerar alguns fatores, como o percentual de juntas obtido por *set*, densidade linear e espaçamento médio das juntas para cada *set*.

O nível de representatividade dos blocos adotados neste estudo será discutido adiante, a partir dos resultados obtidos nos blocos de amostragem em relação aos resultados calculados nos modelos teóricos.

Os cálculos para obtenção do volume de vazios, dado pelas discontinuidades existentes no bloco, foram iniciados a partir da obtenção da área total dos planos das juntas, sendo que foram estabelecidos critérios para determinação da área individual de cada junta, bem como para área total das juntas no bloco.

Os cálculos da área total das juntas foram realizados por dois métodos, o método de somatória das áreas e o método de comprimento médio. O método de somatória das áreas consiste na obtenção da área total das juntas a partir da somatória da área individual de cada junta. Para tal, foi determinada a forma geométrica da cada junta e calculada a área. A geometria das juntas que apresentam suas terminações em contato com a face do bloco é

determinada por meio das projeções do mergulho aparente em cada face do bloco (Figura 5.4b).

Para as juntas localizadas na parte interior dos blocos, ou que tenham apenas uma de suas terminações contra a face do bloco (Figura 5.4c), assumiu-se que:

- o comprimento da junta na base do bloco será o mesmo comprimento medido em planta;
- o comprimento em seção será calculado através da projeção de um plano imaginário, de comprimento igual à face do cubo, paralelo a direção da junta, sendo calculado através da trigonometria do triângulo retângulo.

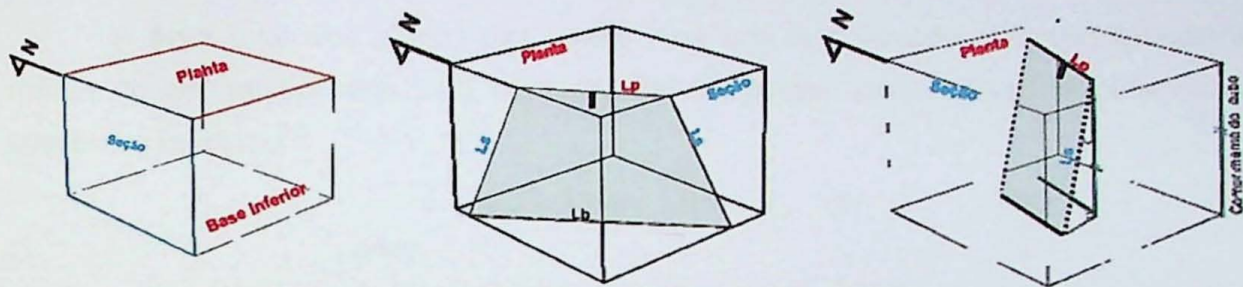


Figura 5.4 – Cálculo do comprimento das juntas em seção. (a) Denominações utilizadas, comprimento em planta (L_p) comprimento em seção (L_s); (b) Junta com contato com a face do bloco, com forma geométrica de um trapézio; (c) Junta sem contato com as faces do bloco, com forma geométrica planar e regular. Indicação da projeção para o cálculo do comprimento em seção.

As juntas encontradas nos blocos de amostragem apresentaram formas geométricas triangular, trapezoidal, retangular, quadrada e pentagonal, sendo que as respectivas áreas foram calculadas conforme abaixo. A fórmula da área do triângulo abaixo é utilizada quando não obtém informações em relação aos ângulos internos do mesmo. Ressalta-se que as áreas das juntas com formas geométricas pentagonais foram calculadas através da divisão da área em polígonos menores.

Área das juntas

Triangular	Trapezoidal	Retangular = quadrada
$\frac{\sqrt{(p \times (p - L_s) \times (p - L_s) \times (p - L_p))}}{2}$	$\frac{(L_p + L_b) \times h}{2}$	$(L_p \times L_s)$
(2)	(3)	(4)

onde:

L_p – comprimento em planta

L_s – comprimento em seção

L_b – comprimento na base

h – altura do polígono

p – é o perímetro do triângulo

A área total dos planos de juntas no bloco, considerando método de somatória das áreas, é dada pela somatória da área individual de cada junta, portanto:

$$Abl = \sum A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (5)$$

sendo:

Abl – área total dos planos das juntas do bloco

A – área da junta

n – número de juntas no cubo

No método de comprimento médio, as juntas são consideradas como polígonos regulares, com formas geométricas retangular ou quadrada.

O comprimento médio em planta e seção é medido e calculado por *set*, utilizando conceitos da análise estatística (Anexo 7), visando preservar as características intrínsecas de cada *set*.

A área total dos planos das juntas para um determinado *set* corresponde à área média do *set* multiplicado pelo número total de juntas, pertencentes ao respectivo *set*, presentes no bloco.

$$A_{set} = (Lpm \times Lsm) \times n_{set} \quad (6)$$

onde:

A_{set} – área total dos planos de juntas do *set*

Lpm – comprimento médio em planta

Lsm – comprimento médio em seção

n_{set} – número de juntas pertencentes ao *set*

A área total de juntas dos blocos obtida pelo método de comprimento médio é dada pela somatória das áreas das juntas em cada *set* (A_{set}), conforme descrito abaixo:

$$Ablm = \sum A_{set-1} + A_{set-2} + \dots + A_{set-n} \quad (7)$$

Sendo:

Ablm – área total dos planos das juntas

A_{set} – área total do *set*

O erro atribuído para ambos os métodos é calculado através do erro padrão da média, conforme Anexo 1.

Entre os dois métodos de obtenção da área total dos planos de juntas, o método de somatória das áreas (Abl) é considerado real, pois a área é calculada individualmente, enquanto que o método de comprimento médio (Ablm) é considerado aproximado, podendo apresentar-se tendencioso em relação ao valor médio obtido, tanto para mais quanto para menos.

Os resultados obtidos por ambos os métodos são comparados, podendo assim avaliar a dispersão entre o resultado considerado real e o aproximado, visando comprovar a viabilidade de aplicação às situações reais de campo, bem como aos modelos de distribuição, conforme será abordado a seguir.

- As juntas apresentam geometria formada por polígonos regulares; quadrado ou retangular.

- O comprimento em seção para as juntas com terminações na face do modelo é obtido pela projeção do mergulho aparente;
- O comprimento em seção das juntas que não apresentam suas terminações na face do bloco é calculado pela trigonometria do triângulo retângulo.

Para cada *set* é calculado o comprimento médio em planta e seção e posteriormente calculado a área, através do cálculo da área do quadrado e retângulo.

No modelo teórico a área total dos planos das juntas é obtido segundo a fórmula abaixo:

$$A_{md} = \sum (A_{set1} \times nj_{set1}) + (A_{set2} \times nj_{set2}) + \dots + (A_{set-n} \times nj_{set-n}) \quad (8)$$

onde:

A_{md} – área total de dos planos de juntas do modelo

A_{set} – área total do *set*

n – número de *set*

nj – número de juntas por *set*

A representatividade do bloco é avaliada a partir da extrapolação de 27 vezes a área obtida para o bloco de amostragem, visando representar as dimensões do modelo de distribuição de juntas. As áreas obtidas a partir do bloco de amostragem (A_{bl} e A_{blm}) e extrapoladas para dimensão do modelo são comparadas com a área obtida diretamente no modelo (A_{md}).

O conhecimento da área total dos planos das juntas, tanto do bloco como do modelo, permite calcular o volume de vazios das juntas, bem como avaliar a representatividade do bloco de amostragem em relação ao modelo de distribuição.

A partir da área total calculada, obtém-se o volume de vazio potencial, através da multiplicação da área pela abertura das juntas, indicado na expressão abaixo. As aberturas consideradas para calcular o volume variam de 0 a 0,045 unidades lineares para o modelo de juntas de cisalhamento e 0 a 0,055 unidades lineares para o modelo de juntas ortogonais de distensão.

$$V = A \times a \quad (9)$$

Onde:

V Volume total de vazios

A área total dos planos de juntas ($27A_{bl}$ ou A_{md})

a abertura do espessamento dos planos das juntas

Para cada valor de abertura atribuído foi encontrado um volume. Para visualizar a relação entre aumento do volume em função do aumento da abertura foram confeccionados gráficos mono-log de volume *versus* abertura para o bloco de amostragem e modelo de distribuição de juntas.

5.3 Procedimento de campo para amostragem de fraturas

Durante a elaboração dos modelos de distribuição de juntas e avaliação da representatividade do bloco, verificou-se a necessidade de estabelecer um procedimento a ser aplicado na atividade de campo, visando um melhor aproveitamento e eficiência dos resultados.

1. Assim, no levantamento de campo foram adotados os seguintes procedimentos: seleção das melhores exposições de rocha (preferencialmente exposição tridimensional);
2. identificação do número de sets presentes no maciço;
3. medição do número de juntas por comprimento linear, visando à obtenção da densidade linear para cada set; para tal, uma trena é posicionada ortogonalmente à direção e mergulho médio do set, sendo contadas as juntas no comprimento considerado; o procedimento deve ser repetido em várias frentes da exposição, visando diminuir o erro e avaliar a persistência dos dados;
4. para cada set é contabilizado o número total de juntas identificadas e o comprimento linear total medido; a densidade linear das juntas no maciço é obtida conforme abaixo:

$$DLm = \sum DI_{set1} + DI_{set2} + \dots + DI_{set-n} \quad (10)$$

Onde:

Onde:

DLm – densidade linear das juntas no maciço

DI – densidade linear do set

5. cálculo dos percentuais de distribuição dos sets no maciço, a partir dos dados de densidades lineares obtidos para cada set;
6. a partir do conhecimento do percentual de cada set calcula-se, proporcionalmente, o número de juntas a serem medidas por set e quantas juntas deverão ser medidas em cada exposição considerada no estudo das densidades, no intuito de compor o universo amostral das juntas;
7. determinado o número de juntas a ser medido por set e por afloramento, inicia-se a medição das atitudes e comprimentos das juntas e espessura das camadas;
8. Posteriormente, no laboratório, com auxílio da Lupa Estereoscópica Carl-Zeiss, são estimadas aberturas para as juntas de cada um dos sets, em amostras selecionadas do afloramento para esta finalidade específica e que deve conter juntas representativas das medidas ao longo do afloramento; a escolha das amostras para a medida da abertura das juntas deve ser cuidadosa e amostragem deve ser feita em porções do afloramento ainda não sujeitas ao intemperismo;

9. os dados são sumarizados em tabelas para tratamento em gabinete.

5.4 Aplicações das simulações

Para aplicação do método desenvolvido foi selecionada uma exposição da sucessão de ritmitos da Formação Assistência, localizada nos arredores de Paraisolândia, Município de Charqueada, SP, caracterizada pela ocorrência de juntas de cisalhamento.

As atividades de campo consistiram na obtenção da densidade linear das juntas por *set* do maciço, delimitação das dimensões do bloco de amostragem, aquisição de atitudes para os *sets* e coleta de amostras para estimativa das aberturas das juntas.

As dimensões do bloco de amostragem de campo foram definidas com base na densidade linear obtida para o maciço, comprimento do afloramento exposto e espessuras das camadas. O bloco de amostragem de campo, denominado BACP, apresenta dimensões de 1x1x0,151 m, sendo que 0,151m é a espessura média das camadas de carbonato medidas. Para essas dimensões, o BACP possui um volume de 0,15 m³.

A área total das juntas foi obtida pelo método de comprimento médio conforme descrito no item 5.2, sendo que, os comprimentos em planta das juntas foram obtidos em campo e os comprimentos em seção foram atribuídos de acordo com o mergulho das juntas e a espessura da camada pertencente.

A área total dos planos de juntas de cada *set* é igual à área média calculada (*am*) multiplicada pelo número de juntas do *set* em questão.

$$A_{tps} = (n \times A_m) \quad (11)$$

sendo:

A_{tps} – área total de dos planos das juntas do *set*

A_m – área média das juntas do *set*

n – número de juntas do *set*

Durante a atividade de campo foi coletada uma amostra (Ip-01), posteriormente analisada no Laboratório de Geologia Sedimentar do IG-USP, visando obter a abertura da junta. No laboratório utilizou-se a Lupa Estereoscópica Carl-Zeiss. O procedimento consistiu inicialmente na captura da imagem da abertura da junta, permitindo um aumento de até 66 vezes da imagem, seguindo do cálculo da distância média entre as faces da junta.

Na amostra foram medidas as aberturas de seis juntas, nomeadas de A a F, (Foto 5.1). A documentação fotográfica obtida e os cálculos são apresentados no Anexo 11.

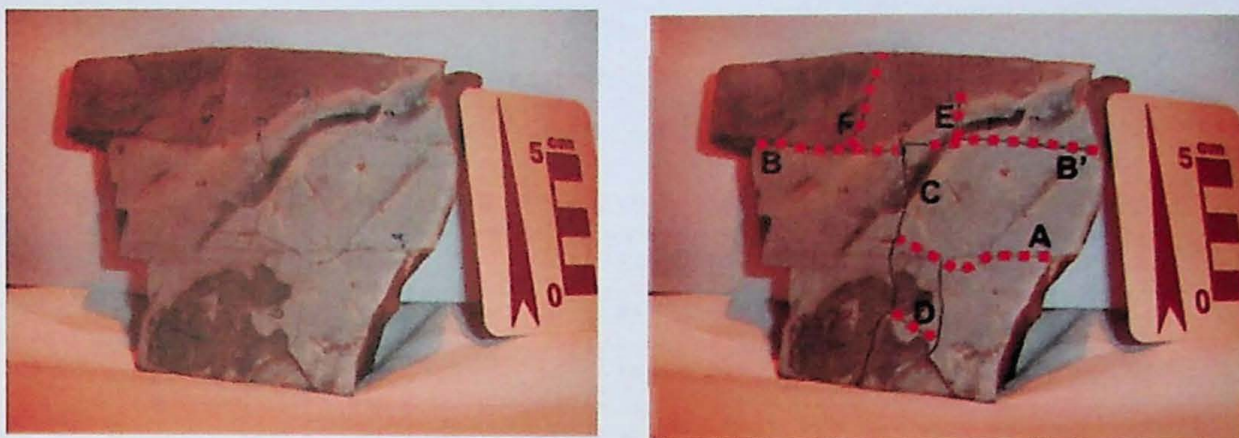


Foto 5.1 – Amostra para obtenção de aberturas

A partir da abertura e da área das juntas foi calculado o volume de vazios por metro cúbico, conforme descrito no item 5.2. Também foram confeccionados gráficos monolog de volume *versus* abertura.

Os dados de campo são apresentados na forma de tabelas, gráficos, diagramas de pólos e densidade no Anexo 10.

6 Apresentação e Discussão dos Resultados

6.1 Representatividade da amostragem de juntas em seções com diferentes orientações

No modelo de juntas de cisalhamento, a análise da Tabela 6.1 permite verificar que, na seção de direção N-S (A-A'), posicionada na bissetriz obtusa do ângulo formado pelos dois *sets* principais e subparalela ao *set* de juntas cruzadas, pode ser obtido o maior número de dados por unidade de comprimento, sendo esta a seção que melhor se aproxima da proporção relativa de juntas do modelo. Para o total de 100 juntas, 28 foram amostradas nesta seção, representando uma densidade linear de 19 juntas/unidade linear, com a proporção de ocorrência de 53,6% para o *set* de direção ENW, 42,9% para o *set* WNW e 3,5% N-S, sendo que para o modelo a proporção estabelecida foi de 47%, 43% e 10%.

Tabela 6.1 – Dados das seções no modelo de juntas de cisalhamento

Set		ENE-WSW		WNW-ESE		N-S		Nº de juntas por seção	Comprimento da seção	Densidade linear*
Seção	Direção	nº	%	nº	%	nº	%			
A – A'	N-S	15	53,6	12	42,9	1	3,5	28	1,5	19
B – B'	N10E	11	52,4	10	47,6	0	0	21	1,53	14
C – C'	N45E	5	22,7	14	63,6	3	0	22	2,12	10
D – D'	E-W	13	68,4	3	15,8	3	13,7	19	1,5	13
E – E'	N75W	10	62,5	5	31,5	1	15,8	16	1,55	10
F – F'	N45W	17	73,9	4	17,4	2	6	23	2,12	11
G – G'	N10W	13	59,1	9	40,9	0	8,7	22	1,55	14
H – H'	N30W	19	86,36	2	9,10	1	4,54	22	1,60	14
I – I'	N30E	9	34,6	17	65,4	0	0	26	1,60	16
Total de juntas plotadas por set		47		43		10				

* Densidade linear calculada partir do número total de juntas encontradas na seção, independente do set.

As seções H-H', I-I' e D-D' estão dispostas ortogonalmente às direções médias dos sets ENE, WNW e N-S, respectivamente. Estas seções favorecem a ocorrência de juntas do set situado perpendicular à direção da seção.

Considerando a necessidade de avaliar a densidade linear da ocorrência das juntas individualmente em cada set, foram utilizadas as seções perpendiculares aos respectivos sets, cadastrando-se somente juntas pertencentes ao set perpendicular à seção.

Os espaçamentos médios encontrados das juntas foram de 0,07 unidades lineares para o set ENE, 0,10 para o WNW e 0,45 para o set N-S, cujas dispersões de espaçamento podem ser observadas nos histogramas elaborados para os dados obtidos nas seções, apresentados no Anexo 6. A densidade linear obtida para cada set foi de 13 juntas/unidade linear para o set ENE, 10 juntas/unidade linear para o set WNW e 2 juntas/unidade linear para set N-S. Nota-se que a proporcionalidade das densidades lineares obtidas para os sets é coerente com o percentual estabelecido no modelo.

Assim como no modelo de juntas de cisalhamento, no modelo de juntas ortogonais as seções que possuem melhor representatividade da distribuição são as posicionadas nas direções de bissetriz do ângulo formado entre as direções dos sets, sendo, neste caso, as seções de direções N45E e N45W.

Tabela 6.2 – Dados das seções no modelo de distribuição de juntas ortogonais de distensão								
Set		N-S		E-W		Número de juntas por seção	Comprimento da seção	Densidade linear*
Seção	Direção	n°	%	n°	%			
A – A'	N-S	1	7,2	13	92,8	14	1,5	9,3
B – B'	N10E	6	40	9	60	15	1,56	9,6
C – C'	N45E	22	78,6	6	21,4	28	2,1	13,3
D – D'	N85E	20	100	0	0	20	1,515	13,2
E – E'	E-W	19	86,4	3	13,6	22	1,5	14,7
F – F'	N85W	25	100	0	0	25	1,515	16,5
G – G'	N45W	19	73,1	7	26,9	26	2,1	12,4
H – H'	N10W	4	12,5	14	87,5	16	1,56	10,3
Total de juntas plotadas por set		70		30				

* Densidade linear calculada partir do número total de juntas encontradas na seção, independente do set.

As seções perpendiculares às direções médias dos sets N-S e E-W apresentam a ocorrência concentrada de juntas do set perpendicular à seção, permitindo calcular o espaçamento e densidade linear das juntas para os dois sets.

Os espaçamentos médios das juntas obtidos para os sets N-S e E-W foram de 0,07 e 0,10 unidades lineares, respectivamente, e podem ser observados em histogramas elaborados e apresentados no Anexo 7, juntamente com os dados utilizados. A densidade linear para os sets foi de 12 juntas/unidade linear para o set N-S e 8 juntas/unidade linear para o set E-W.

Analisando ambas as situações, pode-se dizer que a amostragem em seções não reproduz fielmente as proporções entre os sets de juntas de cisalhamento ou ortogonais de distensão, sendo verificadas, em todas as seções, distorções na proporção de distribuição, em relação ao estabelecido no modelo.

As melhores aproximações são obtidas com seções dispostas em posição próxima à bissetriz do ângulo formado pelos sets, sendo o ângulo obtuso dos sets no modelo de juntas de cisalhamento (com significativa perda de dados de juntas cruzadas) e a 45° das direções dos principais sets, no caso das juntas ortogonais de distensão.

A concentração de juntas do set perpendicular à direção de uma determinada seção permite indicar que, para estudos específicos de um set, a melhor seção deve ser ortogonal à atitude média deste set, favorecendo o número de juntas expostas do set em questão e permitindo o cálculo do espaçamento das juntas e sua densidade linear.

O espaçamento das juntas e a densidade linear do *set* são parâmetros que auxiliam na determinação da densidade linear do maciço, delimitação do tamanho e da localização de um bloco de amostragem para que este seja representativo do modelo de distribuição de juntas.

6.2 Cálculo das áreas das juntas e estimativas de volume de vazios

O bloco de amostragem selecionado para o modelo de juntas de cisalhamento (BAC) apresenta 17 juntas, sendo 8 pertencentes ao *set* NE, 6 ao NW e 3 ao *set* N-S, com percentuais de 47,1%, 35,3 e 17,6%, respectivamente, mantendo a proporcionalidade dos *sets* em relação ao modelo. Os dados das juntas do BAC são apresentados na Tabela 1 (Anexo 2) e sua localização no modelo de distribuição de juntas de cisalhamento na Figura 2 (Anexo 1).

O espaçamento das juntas foi de 0,09, 0,11 e 0,15, para os *sets* ENE, WNW e N-S, respectivamente, e a densidade linear obtida s foi de 10, 9 e 4 juntas/unidade linear de comprimento, respectivamente. A relação do espaçamento entre o BAC e o modelo podem ser observadas em histogramas do Anexo 5.

O espaçamento das juntas e densidade linear, obtidas no BAC, quando comparadas com o modelo, apresenta uma distorção pouco significativa, de modo que o BAC pode ser tratado como um bloco representativo.

A área de juntas no BAC foi calculada pelos dois métodos discutidos no item 5.2.

No método de somatória das áreas, as áreas das juntas são obtidas através de suas formas geométricas, sendo influenciada principalmente pela sua posição no bloco (direção) e mergulho aparente. A dimensão da junta em seção é definida pelo mergulho aparente, onde o comprimento será maior quando o ângulo de mergulho for menor. No BAC os mergulhos aparentes das juntas nas seções (lados) do bloco variam de 64° a 89°. Para este método a área obtida foi de 2,74 unidades de área, desvio padrão de 0,08 e variância de 0,01 unidades de área (Tabela 1, Anexo 8).

Pelo método de comprimento médio foi obtida uma área de 2,70 unidades de área, desvio padrão de 0,08 e variância de 0,01 unidades de área (Tabela 2, Anexo 8).

A área obtida a partir do método de somatória das áreas é utilizada para avaliar a representatividade do BAC em relação ao modelo. Para tanto, a área das juntas calculada para o BAC foi multiplicada por 27, para se estimar a área total do modelo. A área obtida para o modelo, a partir da extrapolação da área do BAC, foi de 74,09 unidades de área.

No modelo de distribuição de juntas de cisalhamento, o método do comprimento médio foi empregado para calcular a área dos planos de juntas, sendo que as medidas utilizadas nos cálculos e o resultado foram compilados na Tabela 6.3, a seguir.

Tabela 6.3 – Cálculo da área das juntas para o modelo de cisalhamento

Parâmetros		ENE	WNW	N-S
Comprimento médio em planta	Lpm	0,49	0,54	0,34
Variância	Var	0,03	0,30	0
Desvio padrão	S	0,18	0,55	0,07
Comprimento médio em seção	Lsm	1,50	1,51	1,52
Variância	Var	0,07	0,05	0,00
Desvio padrão	S	0,26	0,22	0,02
Nº de juntas	Nj	47	43	10
Percentual de distribuição	P	47	43	10
Área por set	A_{set}	34,39	35,30	5,22
Área Total de vazios	ΣA_{Mod}	75,98		

A partir dos resultados de comprimentos médios estabelecidos para cada *set* e utilizados para o cálculo da área total de juntas no modelo, obteve-se o valor de 75,98 unidades de área (erro de $\pm 0,059$ unidades de área).

Nota-se que, os valores de área total de juntas calculadas diretamente no modelo (75,98 unidades de área) e através da extrapolação da área obtida no BAC (74,09 unidades de área) apresentaram diferença de 1,89 unidades de área, representando uma variação inferior a 2,5%. Este resultado permite constatar que o BAC é um bloco representativo do modelo e que a metodologia de cálculo, a partir de uma fração do maciço, pode ser eficientemente aplicada para calcular as áreas e conseqüentemente os volumes de vazios das discontinuidades, como será discutido a seguir.

A partir da determinação das áreas dos planos de juntas existentes tanto do bloco como do modelo e adotando-se valores representando as aberturas destas discontinuidades, foram calculados os volumes de vazios.

As aberturas adotadas possuem dimensões no intervalo de 0 a 0,046 unidades lineares. Considerou-se, para cada estimativa o mesmo valor de abertura para todas as juntas do bloco. A abertura máxima adotada (0,046 unidades) reflete o volume máximo que as discontinuidades podem atingir para ocupar o volume total do espaço. Ressalta-se que, na natureza, o valor máximo de abertura estaria aquém deste, pois não existiria a condição de um volume totalmente vazio, nem com pouco volume de rocha.

Os volumes de vazios foram representados em gráficos, visando demonstrar continuamente, para os diferentes valores de abertura, os respectivos volumes.

A Figura 6.1 é um exemplo de gráfico gerado no cálculo de volume, tendo sido construído em escala monolog de volume *versus* abertura.

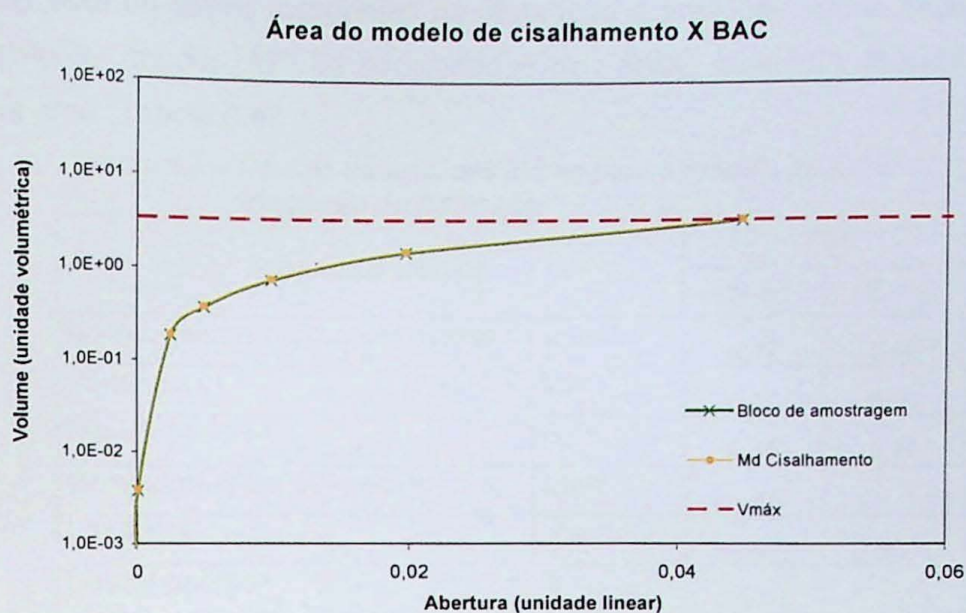


Figura 6.1 – Gráfico de volume *versus* abertura obtido para o modelo de cisalhamento

A análise do gráfico mostra que a capacidade volumétrica do modelo de cisalhamento e que corresponde à abertura máxima das juntas, é de 3,375 unidades volumétricas, sendo este valor de 0,125 unidades volumétricas para o BAC.

No modelo de juntas ortogonais de distensão foram utilizados os mesmos procedimentos desenvolvidos e aplicados no modelo de juntas de cisalhamento para obtenção das áreas dos planos das juntas e determinação do bloco de amostragem.

No BAO foram amostradas 16 juntas, sendo que 9 pertencem ao *set* N-S e 7 ao *set* E-W, e um percentual de distribuição de 56,3% e 43,7 % respectivamente, conforme Tabela 1 (Anexo 9). A localização do BAO no modelo de distribuição de juntas ortogonais é apresentado na Figura 2 (Anexo 3) e os seus dados na Tabela 1 (Anexo 9).

O espaçamento encontrado para os *sets* N-S e E-W foi de 0,05 e 0,09 unidade linear, respectivamente, e a densidade linear encontrada foi 14 e 8 juntas/unidade, respectivamente (Tabela 2, Anexo 8). A relação do espaçamento entre o BAO e o modelo podem ser observadas em histogramas do Anexo 6.

O *set* N-S apresenta uma variação no espaçamento de 28,6% em relação ao modelo, o que reflete num aumento de 16,6% na densidade linear. No entanto, o espaçamento obtido para o *set* E-W apresenta diminuição de 10% no espaçamento em relação ao modelo, e a densidade linear encontrada manteve-se a mesma do modelo.

A área obtida dos planos das juntas para o BAO foi de 2,215 unidades de área para o método de somatório das áreas (Tabela 1, Anexo 9) e de 2,22 unidades de área para o método de comprimento médio (Tabela 3, Anexo 9). As áreas obtidas pelos métodos apresentam uma diferença de aproximadamente 0,23%.

A área do modelo obtida, a partir da extrapolação da área do BAO, é de 63,54 unidades de área.

No modelo de juntas ortogonais de distensão a área das juntas obtida pelo método de comprimento médio foi 62,84 unidades de área com erro calculado de $\pm 0,016$ unidades de área (Tabela 6.4).

Tabela 6.4 – Cálculo da área das juntas para o modelo de juntas ortogonais de distensão

Parâmetro medido		Set	
		N-S	E-W
Comprimento médio em planta	Lpm	0,42	0,40
Variância	Var	0,02	0,01
Desvio padrão	S	0,15	0,10
Comprimento médio em seção	Lsm	1,51	1,51
Variância	Var	0,0001	0,0001
Desvio padrão	S	0,0075	0,0075
Nº de juntas	Nj	71	30
Percentual de distribuição	F	70	30
Área por set	A _{set}	44,56	18,28
Área total dos planos das juntas		62,84	

Os valores de área total das juntas alcançados para o modelo, diretamente no modelo (62,84 unidades de área) e através da extrapolação da área do BAO (63,54 unidades de área) apresentam uma diferença de 1,1%. Assim como no modelo de juntas de cisalhamento, a diferença entre as áreas obtidas para o modelo de juntas ortogonal não é significativa o que permite constatar que o BAO é um bloco representativo do modelo.

No modelo de juntas ortogonais, as aberturas dos planos de juntas adotadas abrangiam o intervalo de foi de 0 a 0,055 unidades.

Considerando os valores de áreas totais das juntas, obtidas diretamente no modelo e partir do BAO, e também o espaçamento de abertura das juntas, foram calculados volumes de vazios do modelo.

A Figura 6.2 apresenta o gráfico volume *versus* abertura para os valores do modelo e para o BAO (extrapolado), sendo verificado o mesmo comportamento dos gráficos anteriores, sendo diferente apenas nos resultados absolutos encontrados. Nota-se que no modelo de juntas ortogonais de distensão a abertura máxima dos planos de junta poderá se de 0,053 unidades lineares.

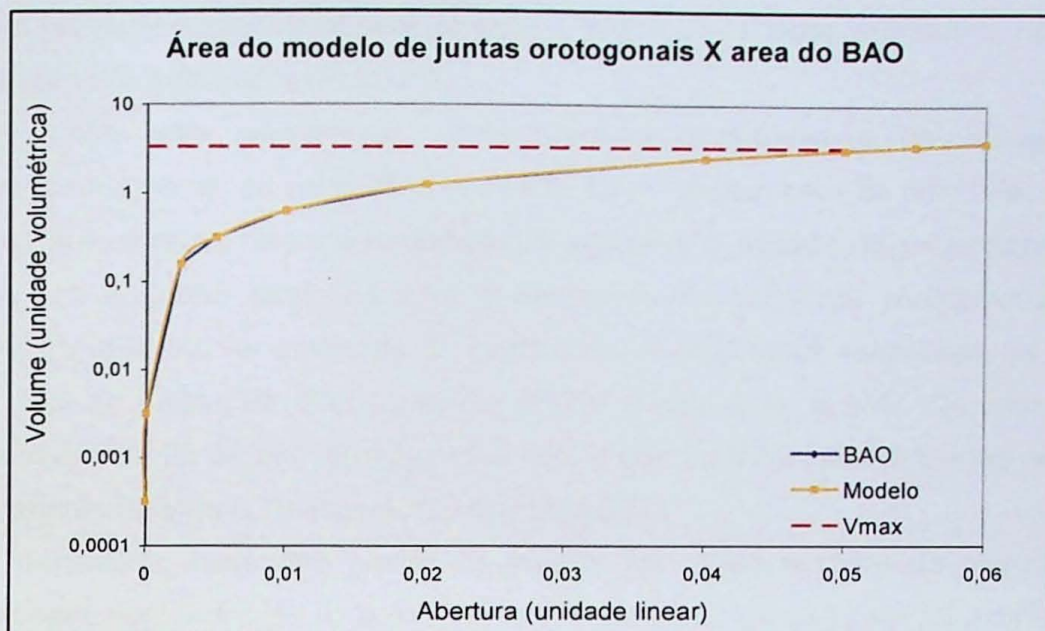


Figura 6.2 – Gráfico de volume *versus* abertura obtido para o modelo de juntas ortogonais

Os gráficos de cálculo de volume mostram continuamente a variação dada no volume de vazios do maciço ou, no caso, dos modelos, em função do aumento nas espessuras das aberturas dos planos de juntas.

A análise dos gráficos de volume permite verificar que ambos os modelos possuem um comportamento similar, dado pela diminuição das taxas percentuais de aumento volumétrico em relação ao aumento das aberturas, identificado pelas acentuada inclinação da curva nos aumentos volumétricos iniciais.

Diante do exposto pode-se dizer que a amostragem de um bloco em maciço fraturado deve levar em consideração espaçamento e a densidade linear medida em seções perpendiculares aos *sets*. A densidade linear permite conhecer o número de juntas a ser considerado para cada *set* no afloramento, conduzindo a uma amostragem mais representativa para cada *set* e, conseqüentemente, a uma diminuição no erro para o cálculo da capacidade volumétrica.

6.3 Teste com dados de campo

As rochas do Membro Ipeúna são caracterizadas pela alternância rítmica de folhelhos argilo-siltosos pirobetuminosos e calcilutitos dolomitizados e silicificados. As espessuras das camadas de calcilutitos variam de 13 a 26 cm, aumentando gradativamente para o topo do afloramento (Foto 6.1). Na parte inferior da exposição tem-se um *sill* de diabásio, com espessura mínima de 2,5 metros, relacionado ao magmatismo toleítico eocretáceo da Formação Serra Geral, intrusivo no ritmo. O efeito termal da intrusão deste

corpo foi o provável responsável pela geração e migração de hidrocarbonetos, hoje betume, para as juntas dos calcilutitos (Foto. 6.2).

As juntas são subverticais, apresentam-se confinadas e atravessam toda a espessura das camadas de calcilutitos, mas não se propagam para os folhelhos (Foto. 6.3). Quando a espessura da camada de folhelho é pequena, a direção de propagação da junta apresenta um pequeno deslocamento; o deslocamento aumenta conforme aumenta a espessura do folhelho. As camadas de calcilutitos dolomitizados encontram-se fraturadas por dois *sets* de juntas de direção média N57W (Fotos 6.4). e N-S. Os *sets* de juntas apresentam ângulo 2θ de aproximadamente 55° , o que permite caracterizá-las como juntas de cisalhamento (Dunne & Hancock, 1994) (Fotos 6.5).

A densidade linear das juntas do maciço foi obtida a partir de três exposições tridimensionais, nomeadas de A, B e C. A densidade linear de cada *set* foi obtida pela perpendicular à atitude direção média de cada *set*, que corresponde a N53W e N02E. Na Tabela 6.5 são apresentadas as densidades lineares obtidas em cada local de amostragem.

Tabela 6.5 - Dados obtidos em campo dos *sets* – densidade linear

	set N53W			set N02E		
	Nº de juntas	Comprimento (m)	Densidade linear	Nº de juntas	Comprimento (m)	Densidade linear
Local A	53	1,44	37	54	6,6	14
Local B	53	3,3	16	52	3,5	15
Local C	23	3	8	21	1,5	14
Nº total de juntas	129	7,74	17	127	11,6	11
Densidade linear do maciço				28 juntas/metro ²		



Foto 6.1 – Intercalação rítmica de folhelho e dolomito (Membro Ipeúna).



Foto 6.2 – Junta preenchida com betume

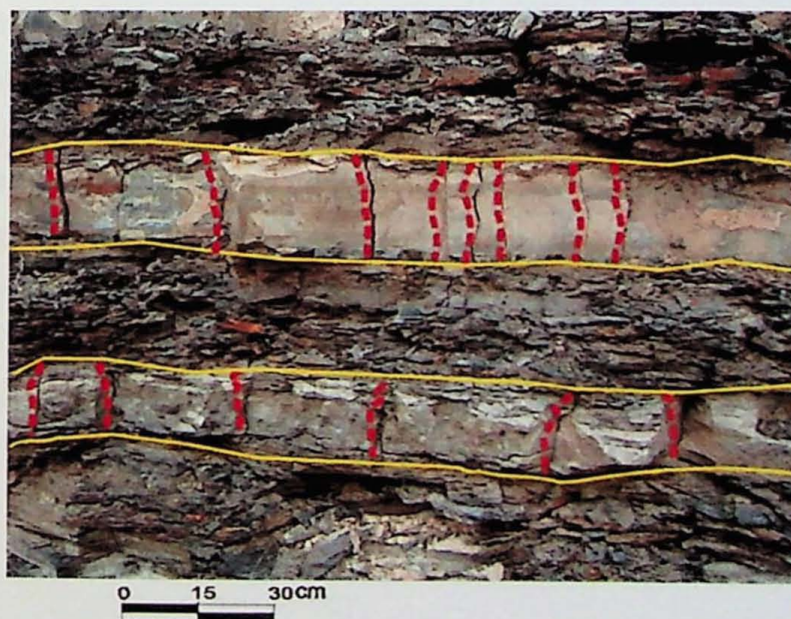


Foto 6.3 – Juntas nas camadas de dolomitos não se propagam nas intercalações de folhelhos

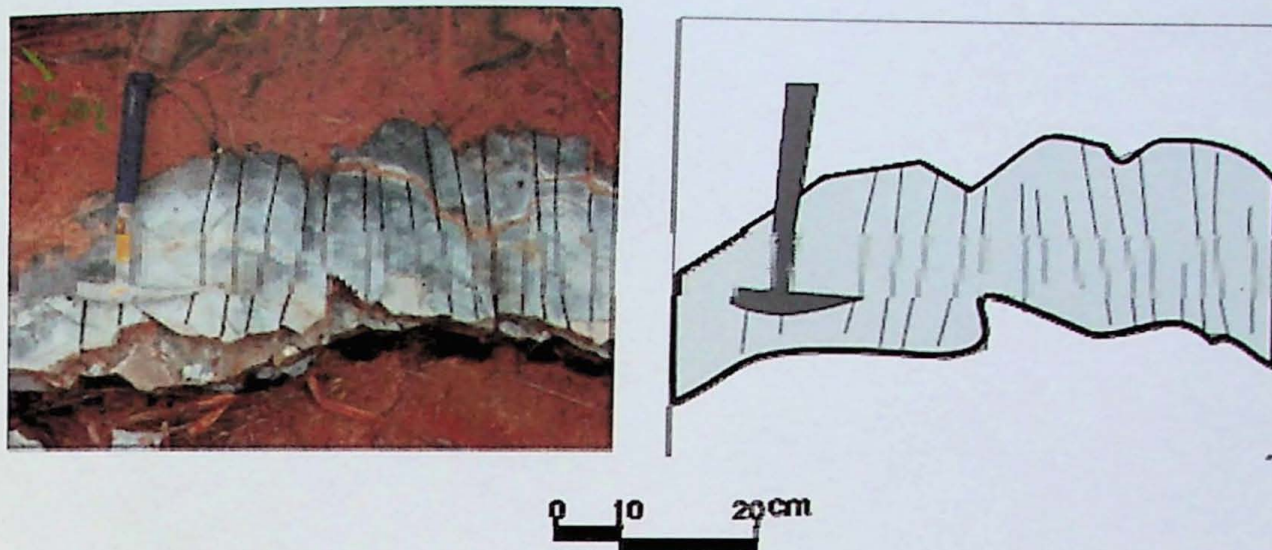


Foto 6.4 – Juntas do set N53W



Foto 6.5 – Juntas de cisalhamento, em destaque o ângulo 20.

A densidade obtida para o maciço foi de 28 juntas/metro, 61% corresponde ao set N53W e 39% ao N02E. Para facilitar o tratamento estatístico, foi utilizada uma população de 100 atitudes de juntas, sendo 61 do set N53W e 39 do set N02E (Tabela 1, Anexo 12). As medidas foram distribuídas nos três locais de amostragem, em proporções correspondentes às densidades lineares de cada local (Tabela 4, Anexo 12).

A delimitação do bloco de amostragem para o maciço foi baseada em três fatores: densidade linear, espessura das camadas e área exposta do afloramento. No caso em estudo, estes critérios resultaram na delimitação de um bloco teórico de área $1 \times 1 \text{ m}^2$ e altura equivalente a espessura média das camadas, ou seja, um volume total de rocha equivalente a $0,151 \text{ m}^3$.

A área foi calculada pelo método do comprimento médio, os comprimentos em planta e seção utilizados foram os obtidos a partir das 100 juntas. A área alcançada foi de $1,871 \text{ m}^2$, com erro de $6,7 \times 10^{-3}$, (Tabela 3, Anexo 10)

A abertura das juntas foi observada na Lupa Estereoscópica Carl-Zeiss. Esta lupa capta a imagem da junta e mede a distância entre as suas faces (Foto 6.6a). Esta distância é medida em diferentes pontos (Foto 6.6b), permitindo a obtenção de um valor médio para a abertura (Anexo 13). As medidas de abertura apresentaram variação de 54 a 451 μm .

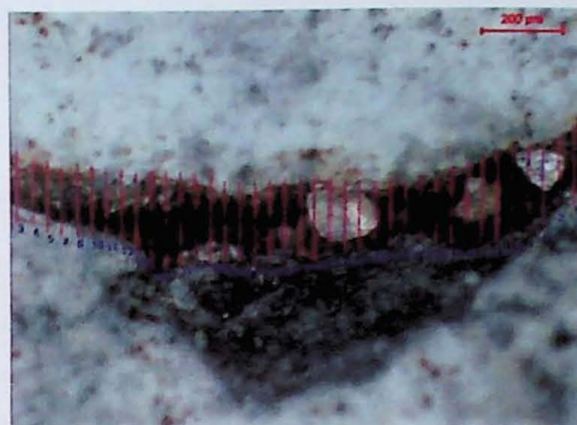
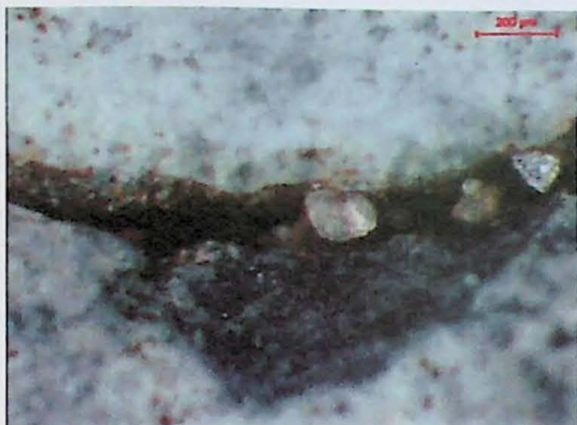
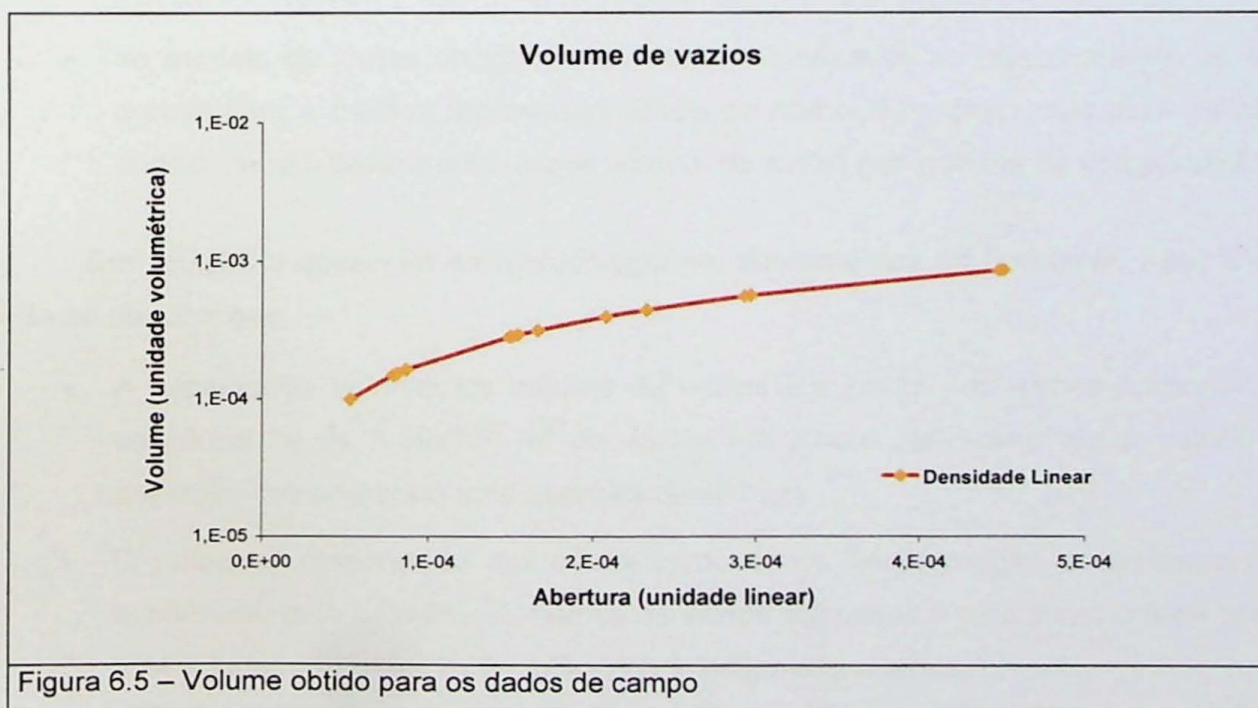


Foto 6.6 a - Captura da imagem abertura da junta

Foto 6.6 b – Distância medida entre as faces da junta

A partir da área e da abertura foi construído gráfico de volume *versus* abertura (Figura 6.5) e obtido o volume de vazios.

O volume obtido foi de $5,59 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de vazios em juntas para cada metro cúbico de dolomito. Este volume obtido é considerado um volume mínimo, uma vez que os comprimentos das juntas em planta não puderam ser medidos integralmente, pois vários dos traços das juntas estavam interrompidos pela frente do corte do afloramento.



7 Conclusões

Os estudos desenvolvidos através dos modelos de juntas de cisalhamento e ortogonal de distensão permitiram concluir que:

- A metodologia de cálculo de potencial reservatório a partir de amostras do maciço pode ser aplicada, conforme indicado pelos resultados aproximados nos cálculos das áreas totais dos planos de juntas e volumes de vazios em juntas, obtidos diretamente nos modelos e a partir dos respectivos blocos de amostragem.
- A representatividade do bloco de amostragem depende da identificação dos *sets* de juntas e a proporção em que ocorrem, densidades lineares dos *sets* e das dimensões horizontais, verticais e aberturas dos planos das juntas, sendo determinante para obtenção de um resultado confiável.
- As seções perpendiculares à direção média de um determinado *set* favorecem a ocorrência de juntas deste *set*, permitindo o cálculo da densidade linear que auxilia no dimensionamento do bloco.

Outra conclusão específica dos modelos teóricos de juntas são:

- no modelo de juntas de cisalhamento a seção de direção N-S, disposta na bissetriz obtusa do ângulo formado pelos dois *sets* principais, apresenta o maior número de juntas por unidade de comprimento e também a melhor proporção de juntas de diferentes *sets*, sendo a mais representativa.
- no modelo de juntas ortogonais as seções localizadas na bissetriz entre os *sets* apresentam a melhor representatividade da distribuição das juntas para os *sets*, apesar de não possuírem o maior número de juntas por unidade de comprimento.

Em relação à aplicação da metodologia em afloramentos da Formação Assistência pode-se concluir que:

- A capacidade volumétrica mínima de vazios em juntas nas rochas carbonáticas calculada foi de $5,59 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de vazios em juntas para cada metro cúbico de dolomito, considerando uma abertura de 451 μm .
- O potencial reservatório dos níveis carbonáticos da Formação a Assistência foi confirmado pelo cálculo volumétrico de vazios em juntas e pela presença de juntas preenchidas por betume, oriundas dos folhelho intercalados.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, C.C.; Yamamoto, J.K.; Rostirolla, S.P. 2005. Tar sandstones in the Paraná Basin of Brazil; structural and magmatic controls of hydrocarbon charge. *Marine and Petroleum Geology*, 22: 671-685.
- Caputo, R. 1995. Evolution of orthogonal sets of coeval extension joints. *Terra Nova*, 7: 479-490.
- Carneiro, C.D.R. 1996. *Projeção estereográfica para análise de estruturas*. São Paulo Unicamp/ CPRM/IPT, p. 115-120.
- Dunne, W.M. & Hancock, P.L. 1994. Paleostress analysis of small-scale brittle structures. In: Hancock, P.L., *Continental Deformation*. Oxford, Pergamon Press, p. 101-119.
- Duyster, J. 2000. *SteroNett*. Bochum, Institut für Geologie, Ruhr-Universität-Bochum.
- Hachiro, J. 1996. *O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná*. São Paulo, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 196p.
- Hachiro, J. & Coimbra, A.M. 1993. Ciclos de Milankovitch nas seqüências rítmicas das Unidade Irati. In: SIMPÓSIO SOBRE A CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1, Rio Claro, 1993. *Resumos*, Rio Claro, IGCE-UNESP, p.72-74.
- Hancock, P.L. 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology*, 7: 437-457.
- Helgeson, D.E. & Aydin, A. 1991. Characteristics of joint propagation across layer interfaces in sedimentary rocks. *Journal of Structural Geology*, 13: 897-991.
- Hobbs, D.W. 1967. The Formation of tension joints in sedimentary rocks: an explanation. *Geological Magazine*, 104: 550-556.
- Journal of rock mechanics and mining sciences and geo-mechanics abstracts . ISRM, England, v 15, n 6, pp 319-368. 1978.
- Ladeira, F.L. & Price, N.J. 1981. Relationship between fracture spacing and bed thickness. *Journal of Structural Geology*, 3: 179-183.
- Milani, E.J. 2004. Comentário sobre a origem e evolução da tectônica da Bacia do Paraná. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R. & Brito-Neves, B.B. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando F. M. Almeida*. São Paulo.Beca, p. 265-279.
- Milani, E.J. & França, A.B. 1994. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências, Petrobrás*, 8:69-82.
- Peacock, D.C.P. & Sanderson, D.J. 1992. Effects of layering and anisotropy on fault geometry. *Journal of the Geological Society, London*, 149:793-802.
- Pollard, D.D. & Aydin, A. 1988. Progress in understanding jointing over the past century. *Geological Society of American Bulletin*, 100:1181-1204.

- Pollard, D.D. & Aydin, A. 1988. Progress in understanding jointing over the past century. *Geological Society of American Bulletin*, 100:1181-1204.
- Riccomini, C. 1995. *Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 100p.
- Riccomini, C. 1991. Estilos estruturais da região do Domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. *Boletim IG-USP, Publicação Especial*, 12:93-94.
- Rives, T.; Razack, M.; Petti, J.P.; Rawnsley, K.D. 1992. Joint spacing: analogue and numerical simulations. *Journal of Structural Geology*, 14: 925-937.
- Sant'Anna, L.G.; Clauer, N.; Cordani, U.G.; Riccomini, C.; Velázquez, V.F.; Liewig, N. 2006. Origin and migration timing of hydrothermal fluids in sedimentary rocks of the Paraná Basin, South America. *Chemical Geology* (no prelo).
- Turner, S.; Regelous, M.; Kelley, S.; Hawkesworth, C. 1993. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 121:333-348.
- Yamamoto, J. K. ; Bettecourt, J.S. ; Montanheiro, T.J.. 2001. Análise Estatística. In: Yamamoto, J. K., Avaliação e Classificação de reservas minerais. São Paulo: EDUSP, p. 49-68.
- Zalán, P.V.; Wolff, S.; Astolfi, M.A.M.; Vieira, I.S.; Concelção, J.C.J.; Appi, V.T.; Neto, E.V.S.; Cerqueira, J.R.; Marques, A. 1990. The Paraná Basin, Brazil. In: Leighton, M.W.; Oltz, D.F.; Eidel, J.J. (eds) *Interior Cratonic Basins*. Tulsa, AAPG Memoir, 51, p. 681-708.
- Zhang, X.; Harkness, R.M.; Last, N.C. 1992. Evaluation of connectivity characteristics of naturally jointed rock masses. *Engineering Geology*, 33:11-30.

Anexo 1

Dados do modelo de juntas de cisalhamento

Projeção dos polos

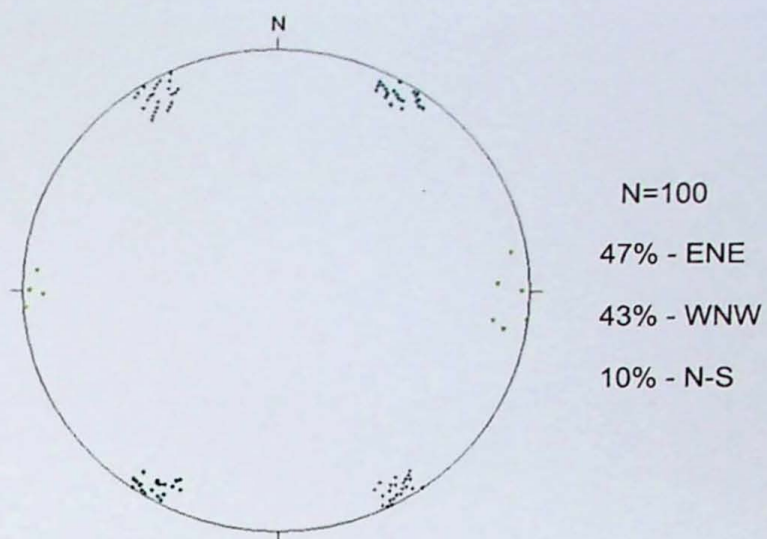


Diagrama de densidade

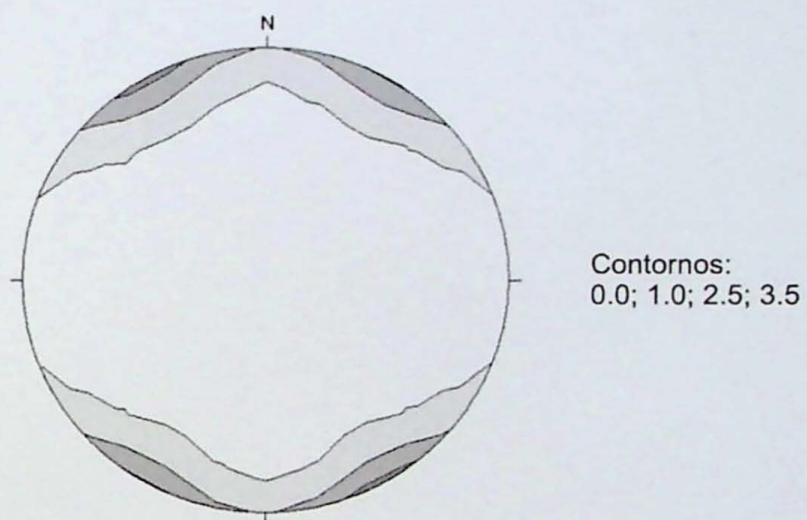


Diagrama de roseta

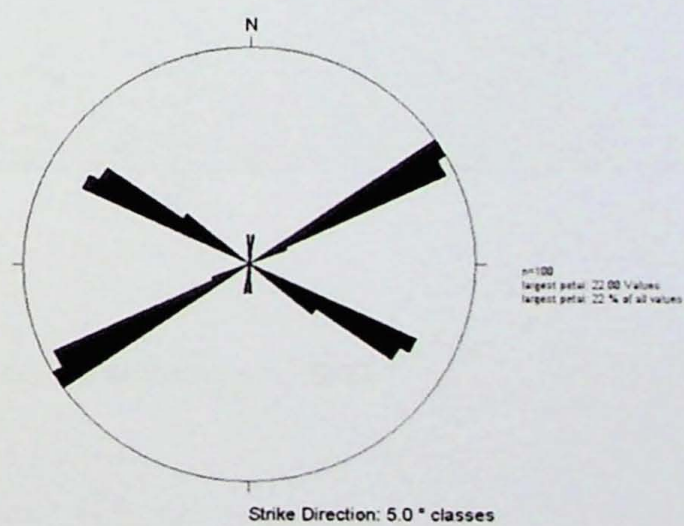
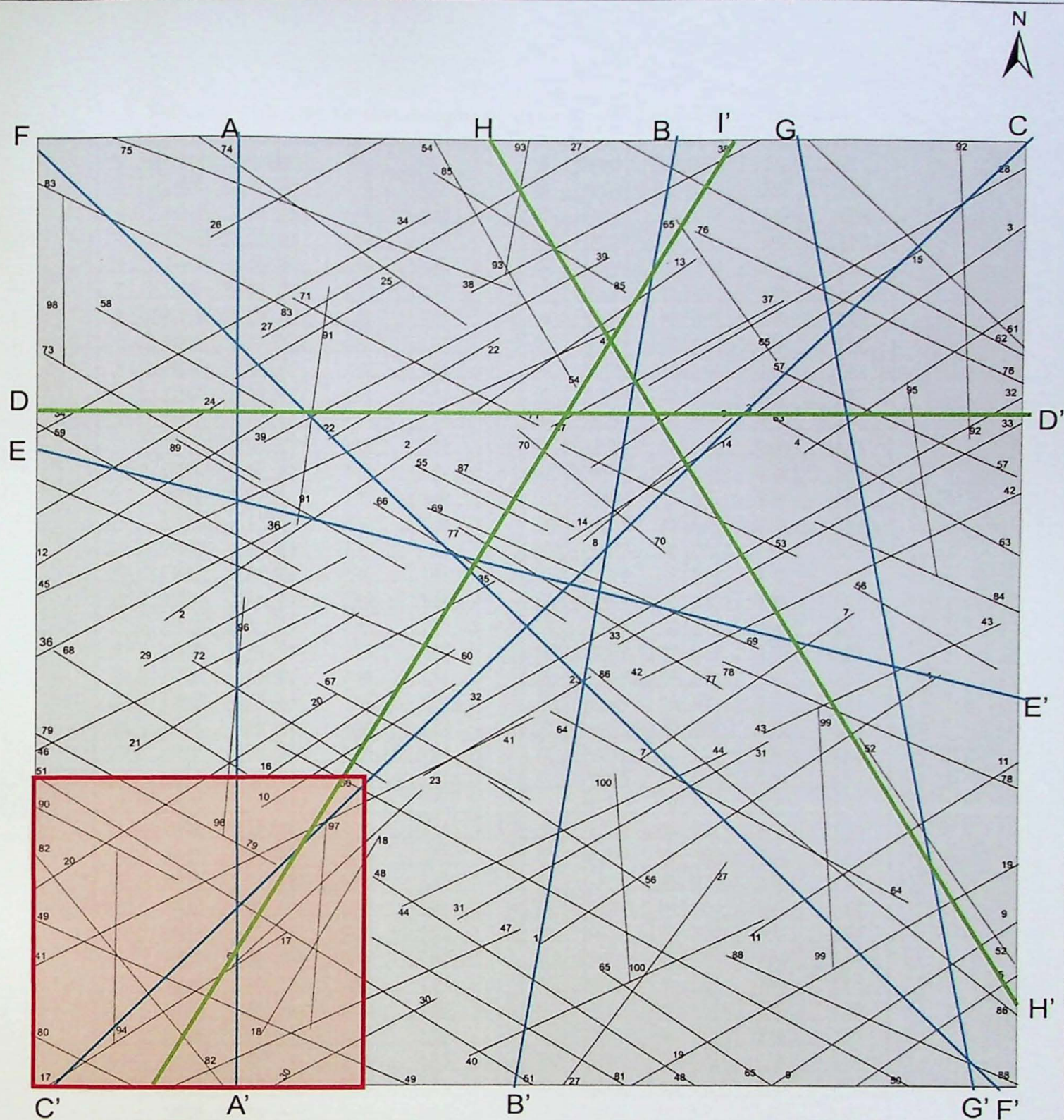


Figura 1 - Projeções estereográficas do modelo de juntas de cisalhamento



Legenda

16 Juntas

Bloco de amostragem - BAC

A—A' Seções

A—A' Seções perpendiculares as direções médias dos set

Figura 2 - Localização das seções no modelo de juntas de cisalhamento e localização do bloco de amostragem (BAC)

Tabela 1 - Modelo de distribuição de juntas de cisalhamento – atitudes

Nº	Direção	Mergulho	Lp	LS
1	N55E	75 SE	0,75	1,58
2	N55E	80 NW	0,50	1,53
3	N55E	81 SE	0,50	1,96
4	N55E	89 NW	0,40	1,96
5	N55E	87 SE	0,33	0,27
6	N56E	76 SE	0,40	1,59
7	N56E	81 NW	0,40	1,52
8	N56E	88 SE	0,40	1,50
9	N56E	83 NW	0,48	1,51
10	N57E	77 SE	0,35	1,54
11	N57E	82 NW	0,50	1,51
12	N57E	83 SE	0,45	1,52
13	N57E	87 NW	0,43	1,50
14	N58E	78 SE	0,30	1,53
15	N58E	83 NW	0,60	1,51
16	N58E	84 SE	0,35	1,51
17	N58E	85 NW	0,46	1,52
18	N58E	89 SE	0,40	1,50
19	N59E	79 NW	0,70	1,60
20	N59E	84 SE	0,55	1,51
21	N59E	85 NW	0,40	1,51
22	N59E	80 SE	0,30	1,52
23	N60E	82 NW	0,30	1,51
24	N60E	86 SE	0,35	1,50
25	N60E	87 NW	0,80	1,50
26	N60E	75 SE	0,30	1,55
27	N61E	86 NW	0,46	1,50
28	N61E	87 SE	0,65	1,51
29	N61E	81 NW	0,35	1,52
30	N61E	76 SE	0,30	1,67
31	N62E	87 NW	0,55	1,50
32	N62E	88 SE	0,98	1,50
33	N62E	83 NW	0,00	0,88
34	N62E	77 SE	0,70	1,54
35	N63E	89 NW	0,30	1,50
36	N63E	80 SE	0,45	1,53
37	N63E	78 NW	0,40	0,80
38	N63E	83 SE	0,50	1,55
39	N63E	87 NW	0,60	1,50
40	N64E	80 SE	0,50	1,62
41	N64E	89 NW	0,85	1,50
42	N64E	86 SE	0,65	2,00
43	N64E	84 NW	0,40	1,51
44	N65E	81 SE	0,55	1,52
45	N65E	80 NW	0,99	1,52
46	N65E	89 SE	0,50	1,50
47	N65E	88 NW	0,60	1,51
48	N55W	86 NE	0,60	1,51
49	N65W	81 SW	0,64	1,59
50	N60W	83 SW	1,10	1,55

Nº	Direção	Mergulho	Lp	LS
51	N56W	87 NE	0,90	1,51
52	N56W	87 SW	3,90	1,50
53	N64W	76 NE	0,40	1,55
54	N58W	82 SW	0,47	1,53
55	N62W	85 NE	0,23	1,51
56	N57W	88 SW	0,25	1,50
57	N63W	77 NE	0,40	1,52
58	N65W	83 SW	0,32	1,51
59	N58W	89 NE	0,48	1,50
60	N62W	80 SW	0,73	1,53
61	N54W	86 NE	0,46	1,51
62	N60W	78 SW	0,70	1,81
63	N59W	81 NE	0,44	1,83
64	N61W	84 SW	0,63	1,51
65	N55W	89 NE	0,40	1,50
66	N57W	79 SW	0,35	1,53
67	N60W	82 NE	0,38	1,51
68	N55W	86 SW	0,35	1,51
69	N65W	80 NE	0,55	1,52
70	N53W	84 SW	0,30	1,51
71	N61W	81 NE	0,43	1,52
72	N56W	88 SW	0,35	1,50
73	N59W	82 NE	0,40	1,52
74	N55W	85 SW	0,50	1,51
75	N63W	80 NE	0,63	1,67
76	N62W	82 SW	0,55	1,75
77	N57W	88 NE	0,48	1,50
78	N65W	85 SW	0,51	1,68
79	N59W	86 NE	0,43	1,50
80	N63W	83 SW	0,18	1,51
81	N58W	89 NE	0,45	1,50
82	N54E	84 SE	0,70	1,51
83	N61W	87 NE	0,43	1,50
84	N64W	84 SW	0,35	1,55
85	N56W	86 NE	0,35	1,50
86	N59W	82 SW	0,36	0,18
87	N62W	88 NE	0,20	1,50
88	N65W	85 SW	0,50	1,51
89	N55W	81 NE	0,40	1,52
90	N61W	89 SW	0,25	1,50
91	N08E	75 NW	0,39	1,55
92	N02W	76 SW	0,46	1,55
93	N10E	80 NW	0,22	1,52
94	N01W	81 NE	0,32	1,52
95	N10W	83 SW	0,33	1,51
96	N05E	84 SE	0,39	1,51
97	N07E	89 NW	0,34	1,50
98	N-S	86 W	0,27	1,50
99	N-S	87 E	0,42	1,50
100	N04W	89 SE	0,34	1,50

Tabela 2 – Parâmetros Estatísticos

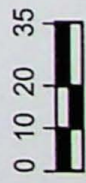
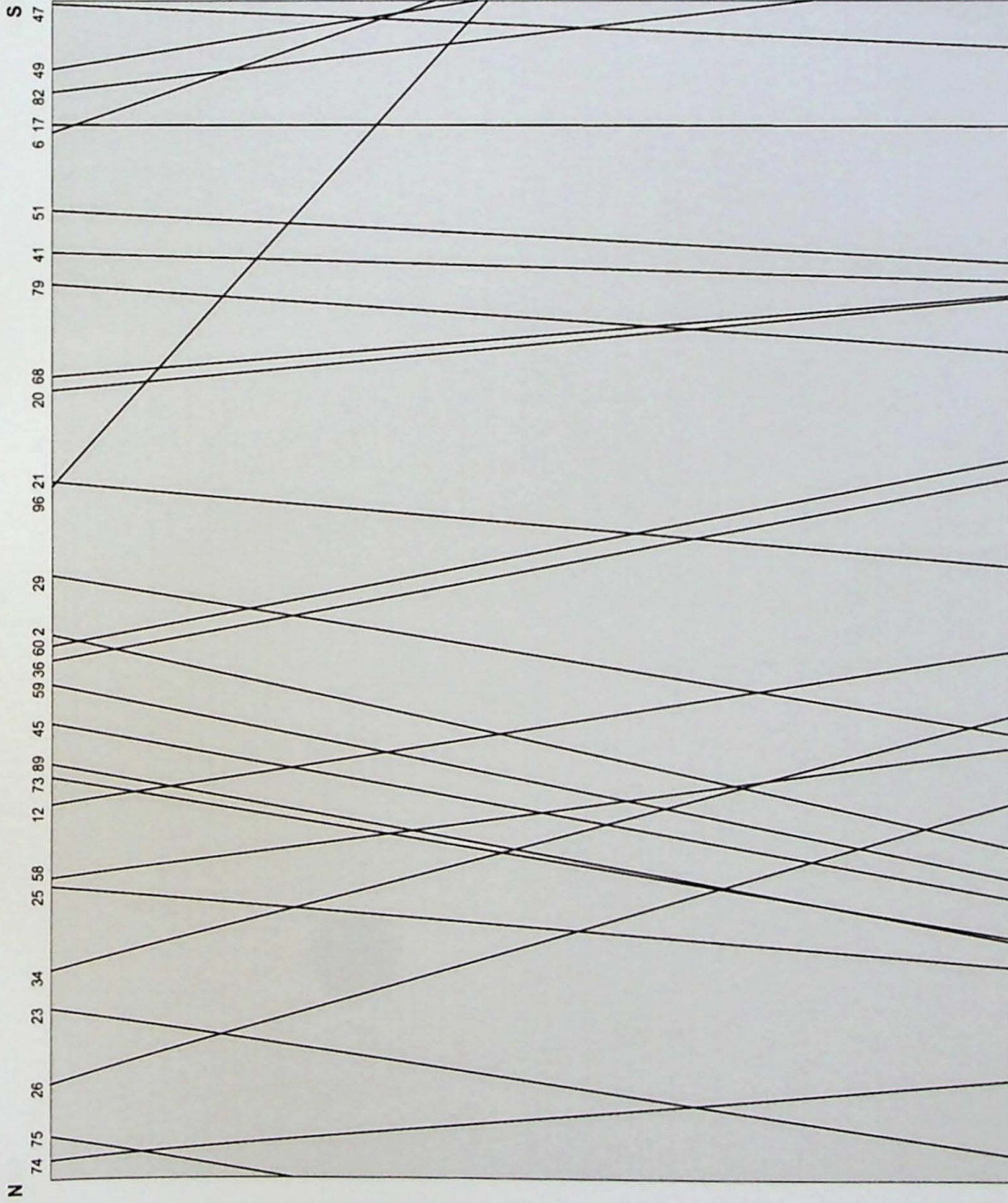
Parâmetros calculados	Lp	Ls
Total	50,47	150,58
Media	0,50	1,51
Desvio padrão	0,39	0,23
variância	0,15	0,05
Erro padrão da média	0,039	0,032

Anexo 2

Seções realizadas para o modelo de distribuição de juntas de cisalhamento

Modelo de Juntas ortogonais de distensão Direção da seção N-S

A-A'



Escala Gráfica aproximada

Projeção Polar

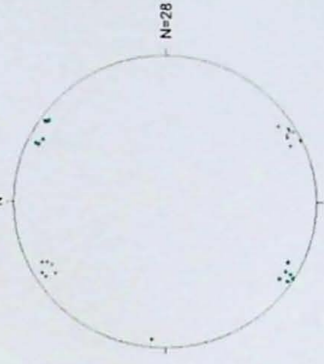


Diagrama de densidade

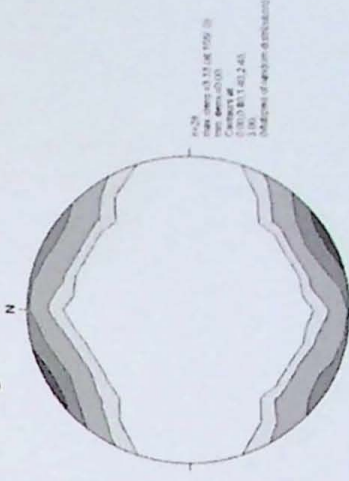
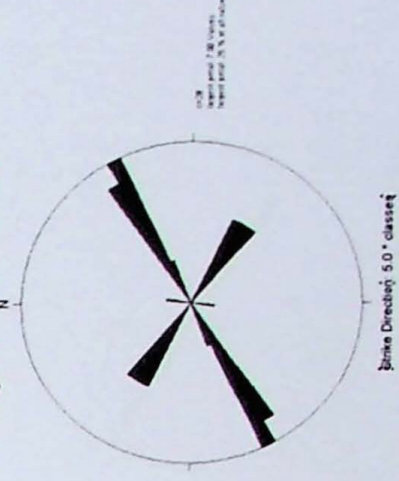
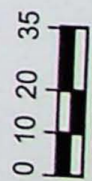
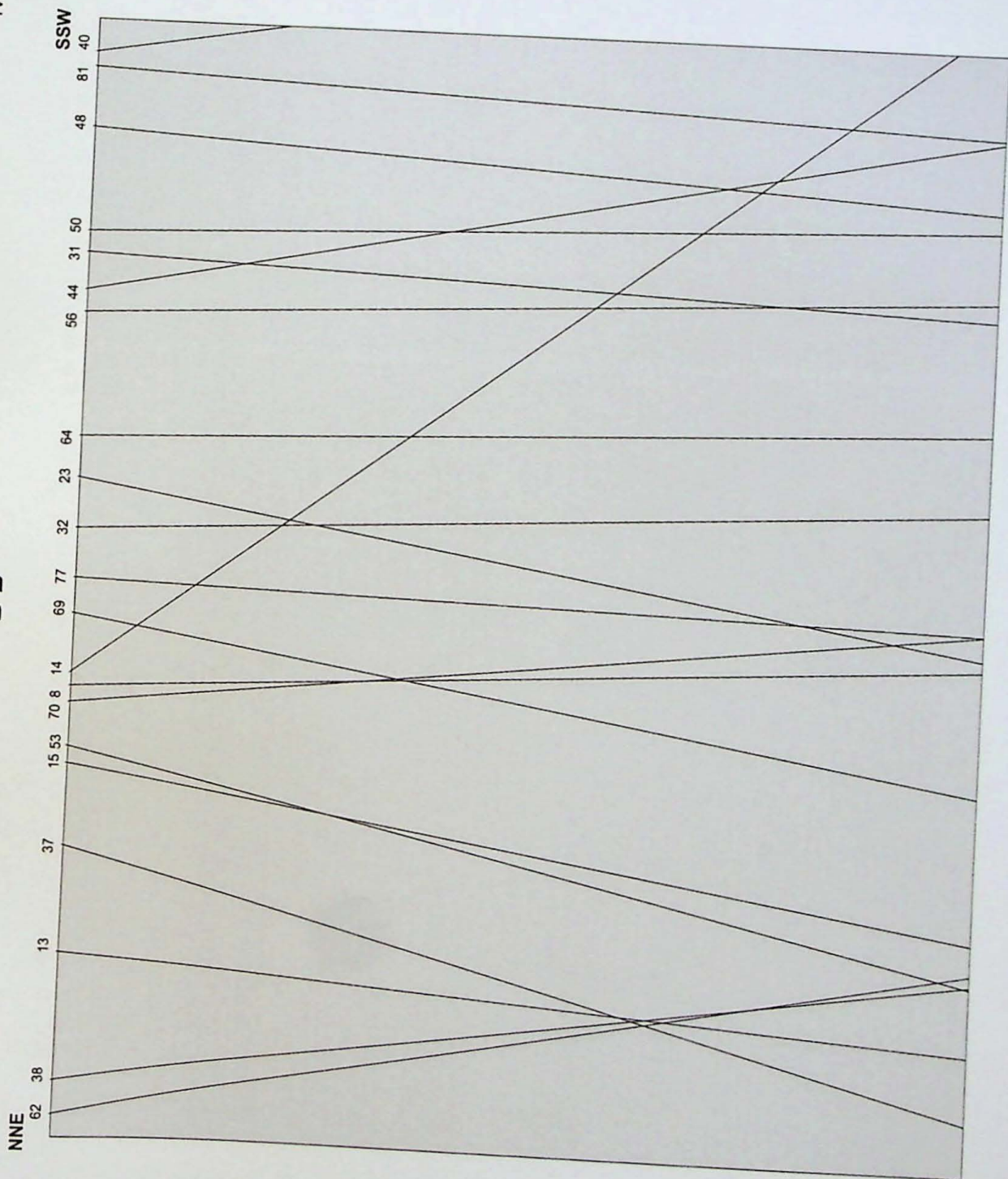


Diagrama de roseta



B-B'

Modelo de Juntas ortogonais de distensão



Escala Gráfica aproximada

Direção da seção N10E

Projeção Polar

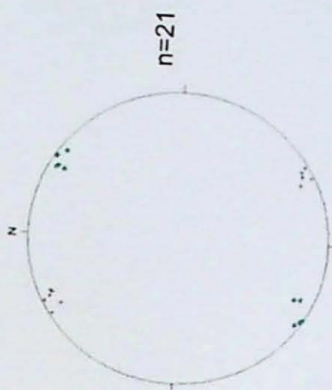


Diagrama de densidade

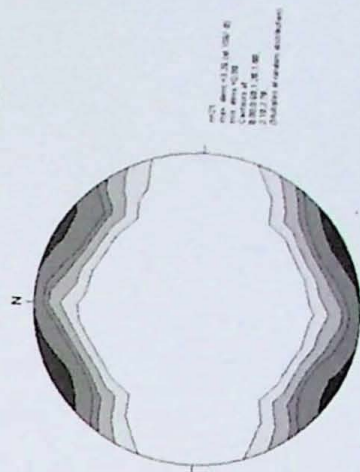
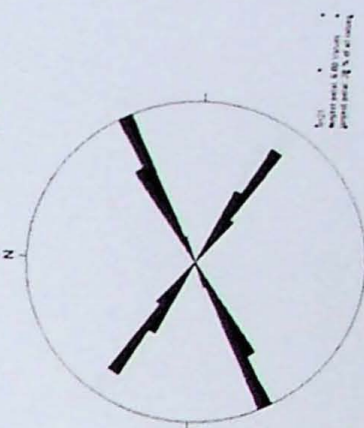
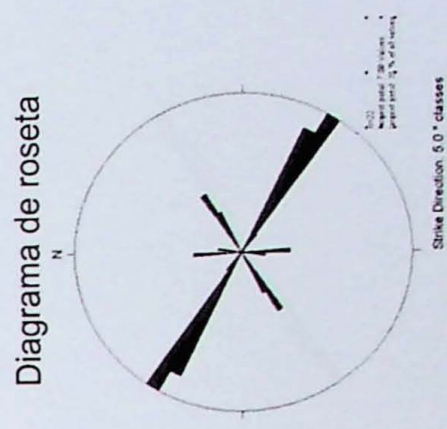
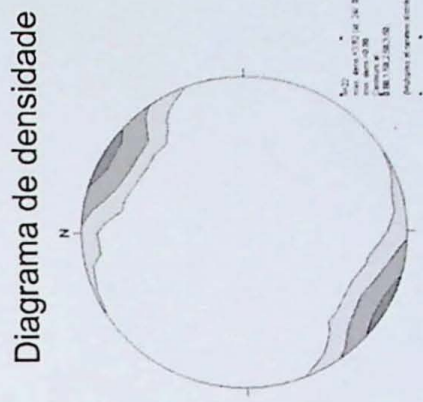
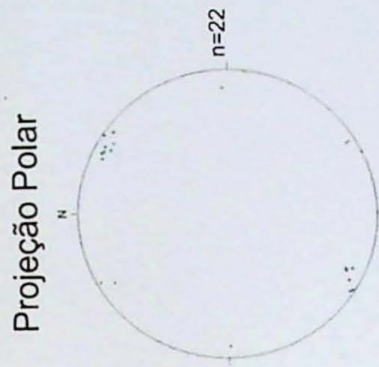
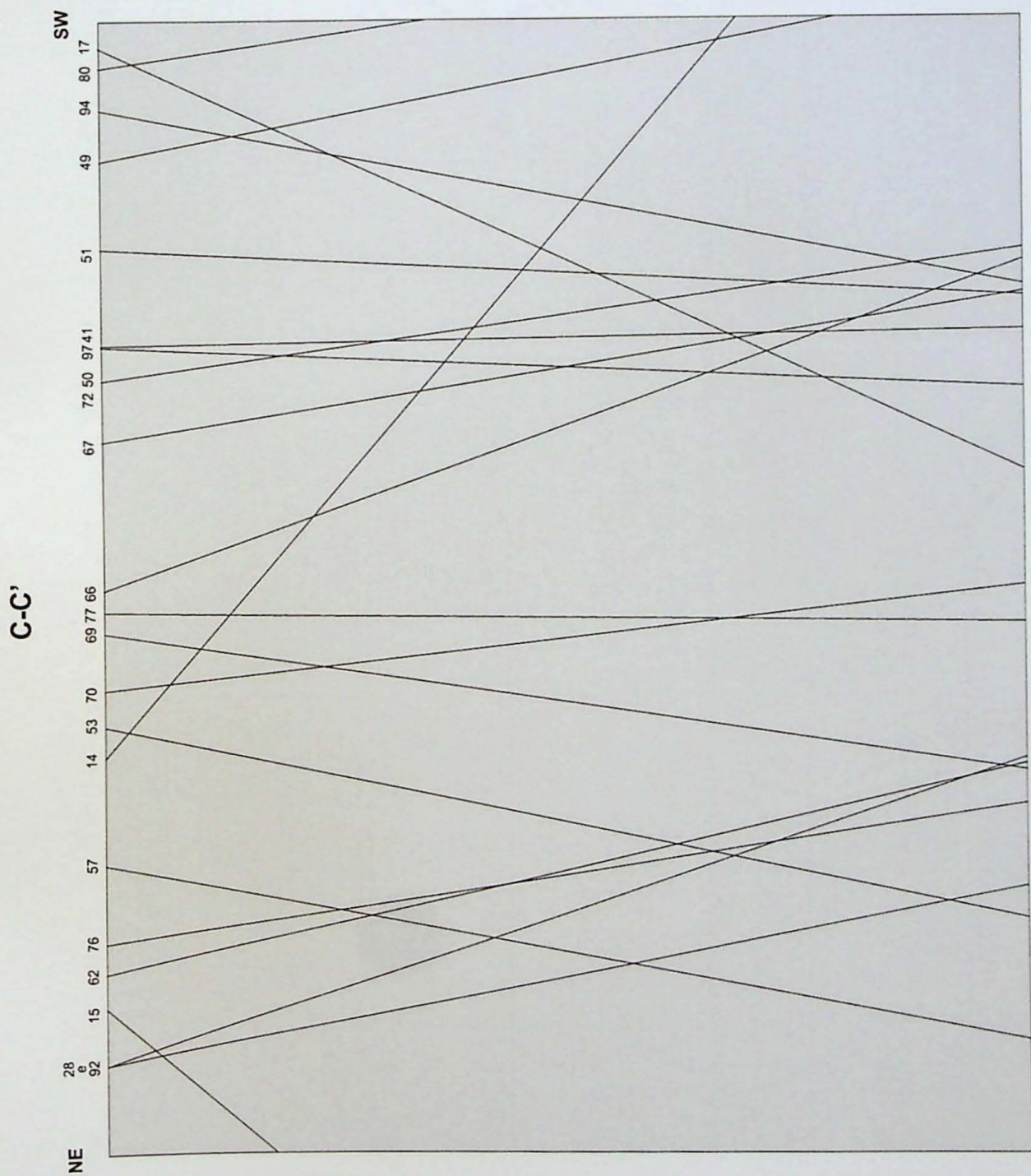


Diagrama de roseta



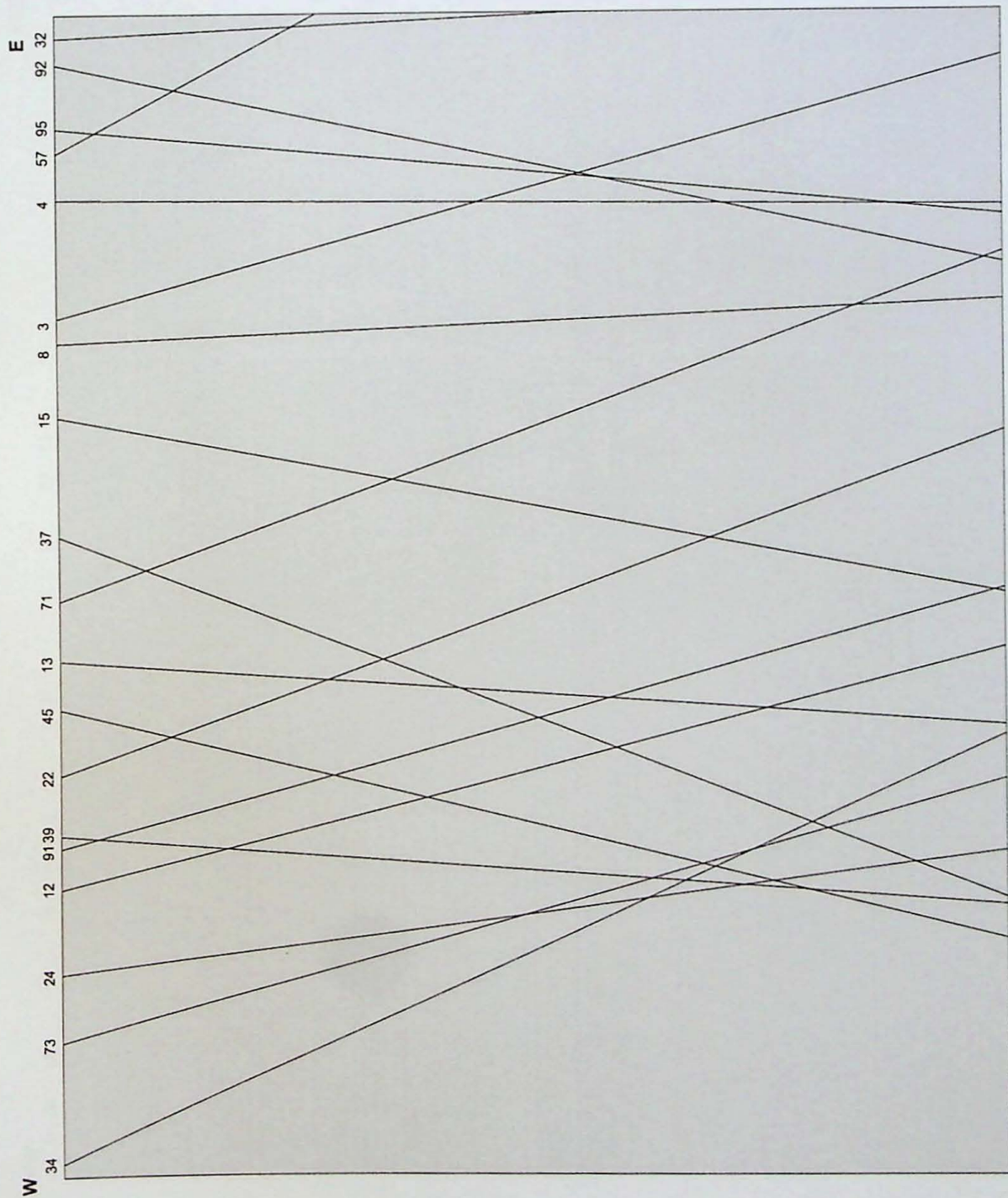
Strike Direction 50° classes

Modelo de Juntas ortogonais de distensão
Direção da seção N45E



Modelo de Juntas ortogonais de distensão

D-D'



0 10 20 35



Escala Gráfica aproximada

Direção da seção E-W

Projeção Polar

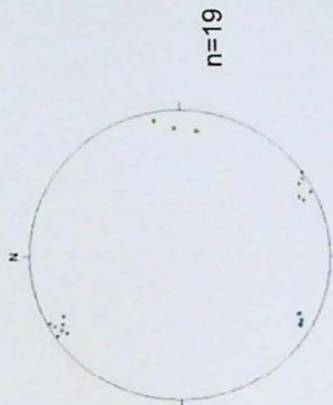


Diagrama de densidade

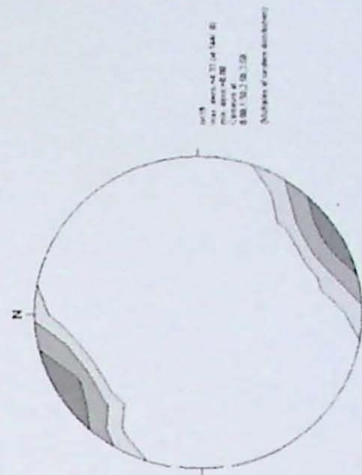
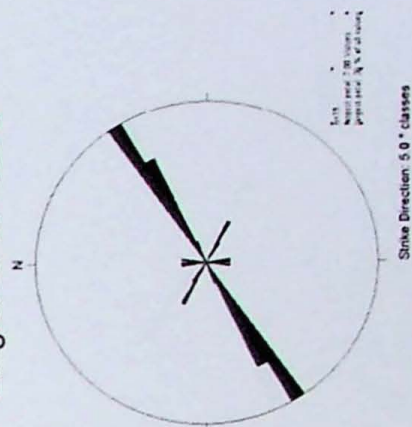
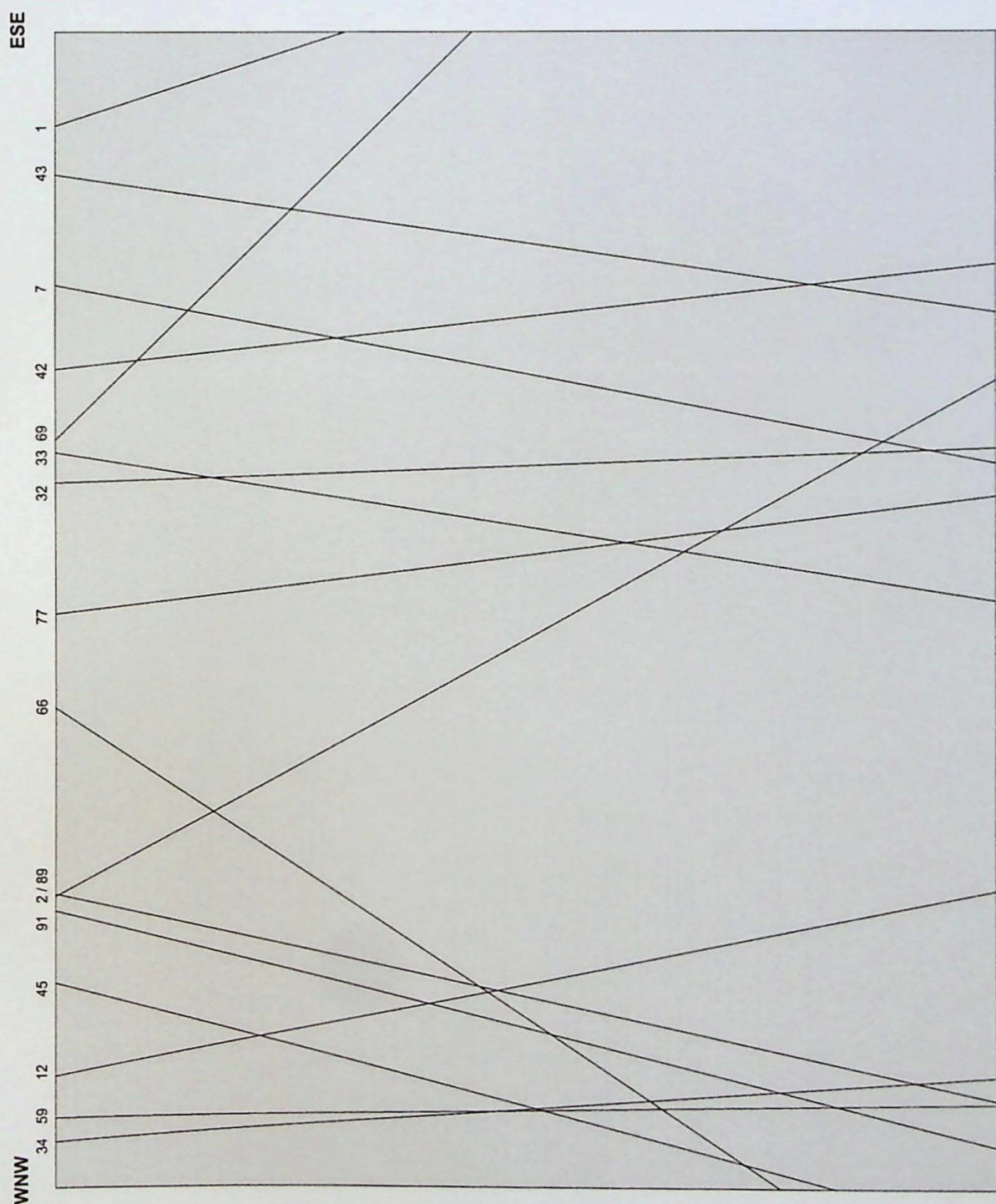


Diagrama de roseta



Modelo de Juntas ortogonais de distensão Direção da seção N75W



Projeção Polar

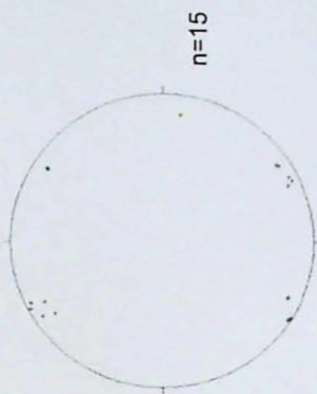


Diagrama de densidade

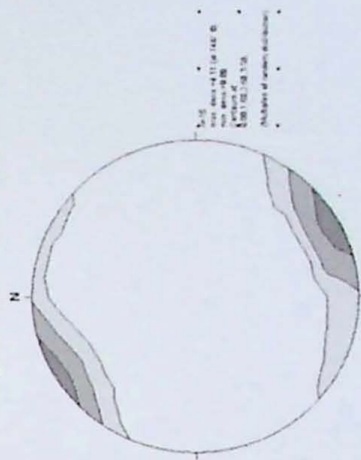
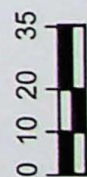
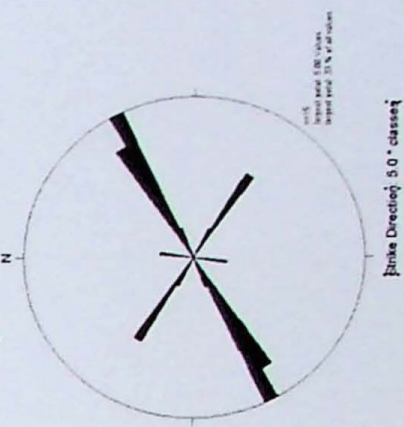


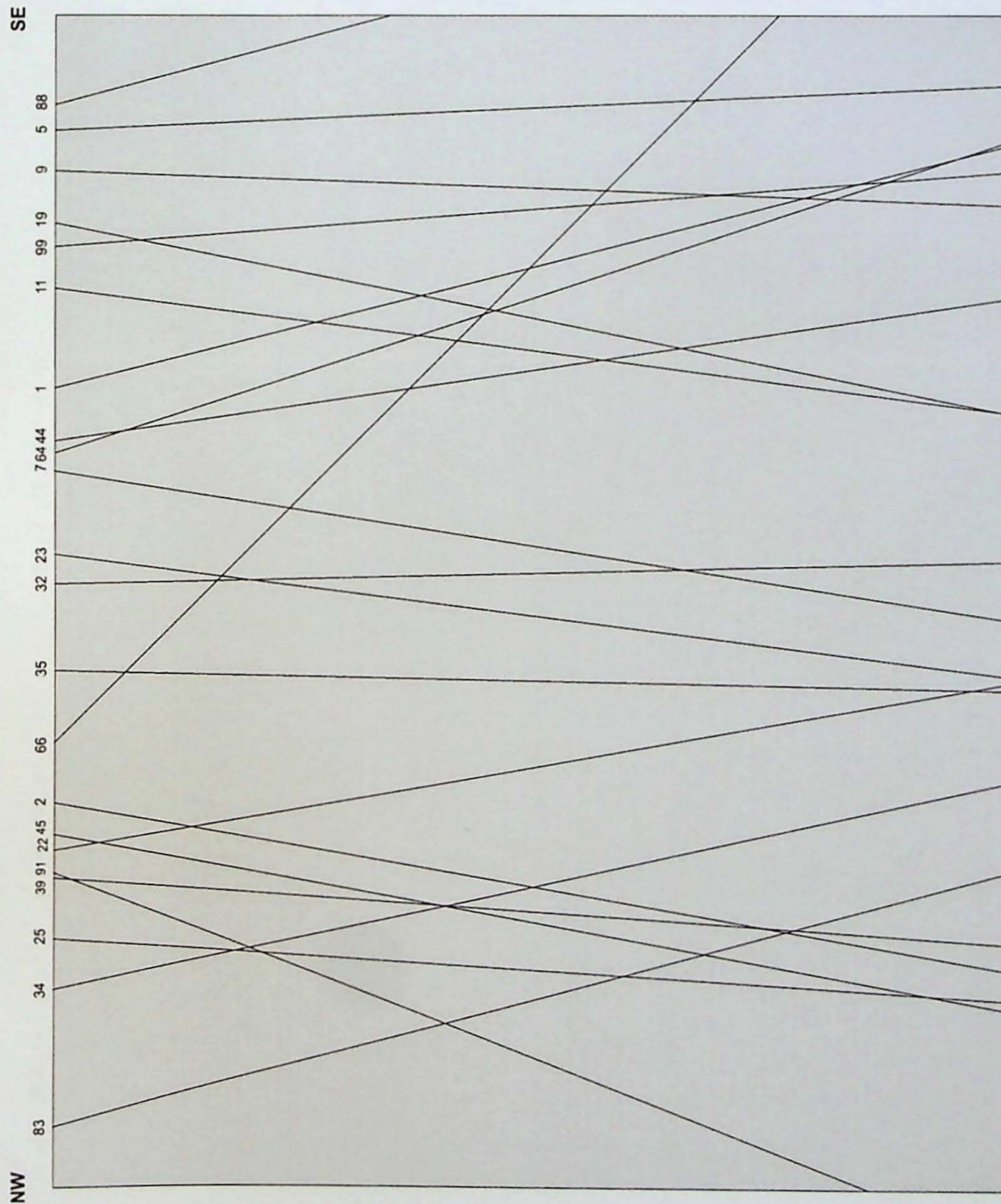
Diagrama de roseta



Escala Gráfica aproximada

Modelo de Juntas ortogonais de distensão Direção da seção N45W

F-F'



Projeção Polar

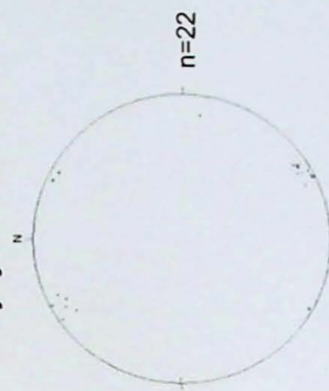


Diagrama de densidade

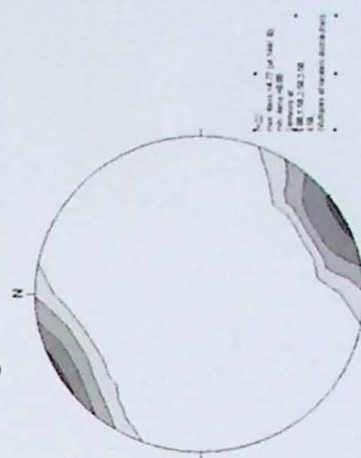
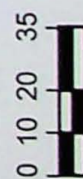
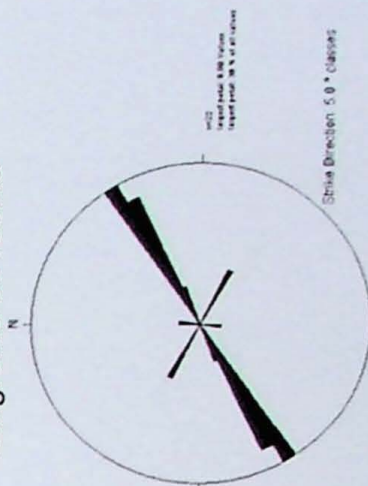


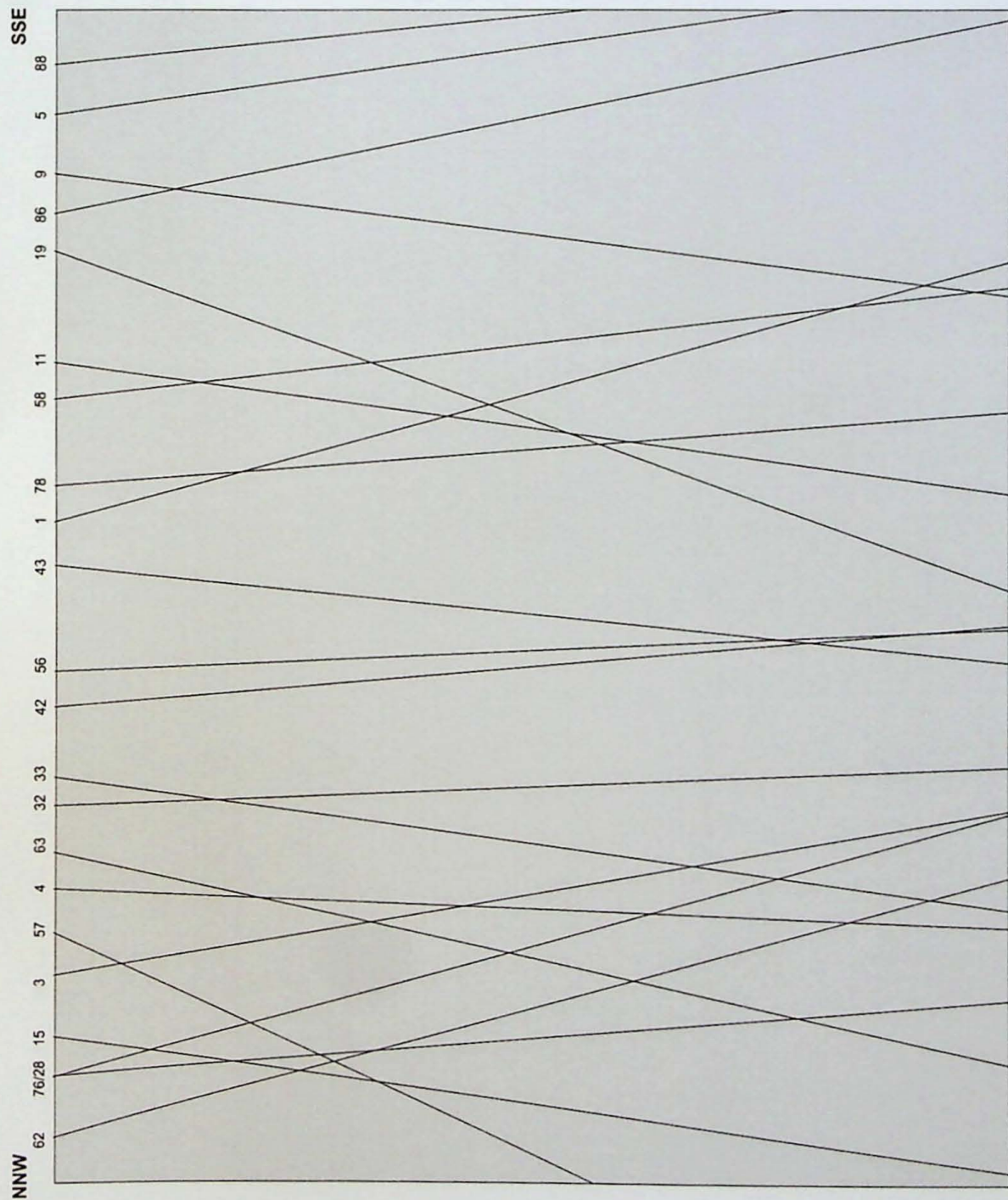
Diagrama de roseta



Escala Gráfica aproximada

Modelo de Juntas ortogonais de distensão Direção da seção N10W

G-G'



Projeção Polar

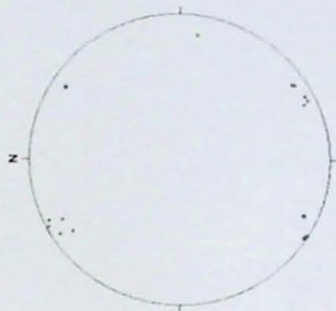


Diagrama de densidade

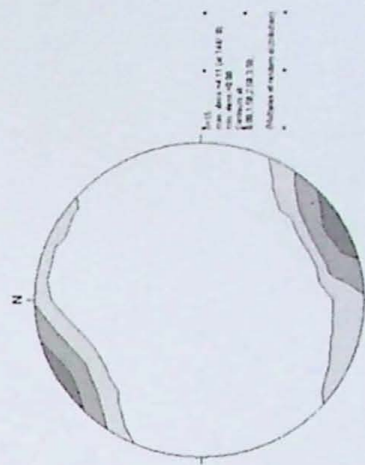
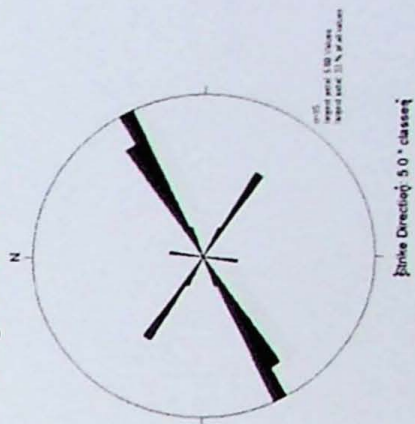


Diagrama de roseta

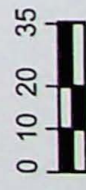
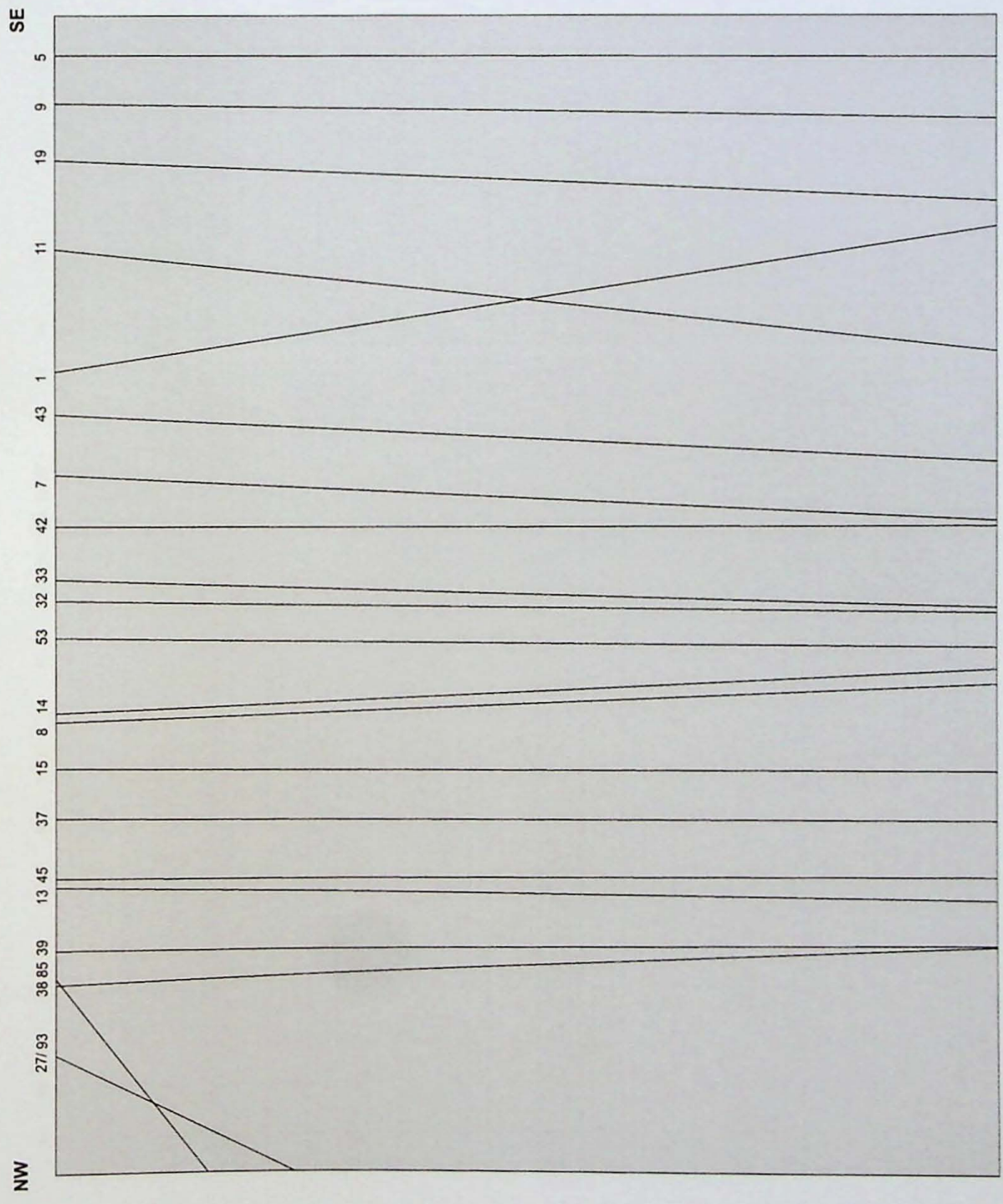


0 10 20 35



Escala Gráfica aproximada

H-H'



Direção da seção N30W

Projeção Polar

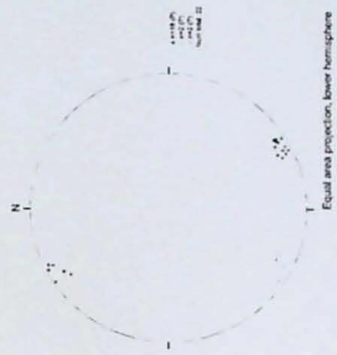


Diagrama de densidade

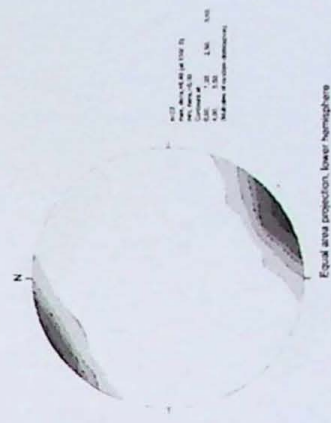
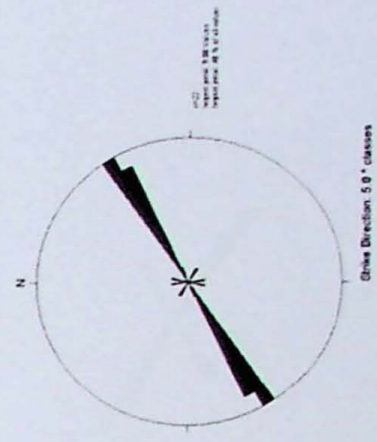
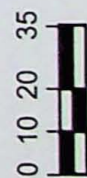
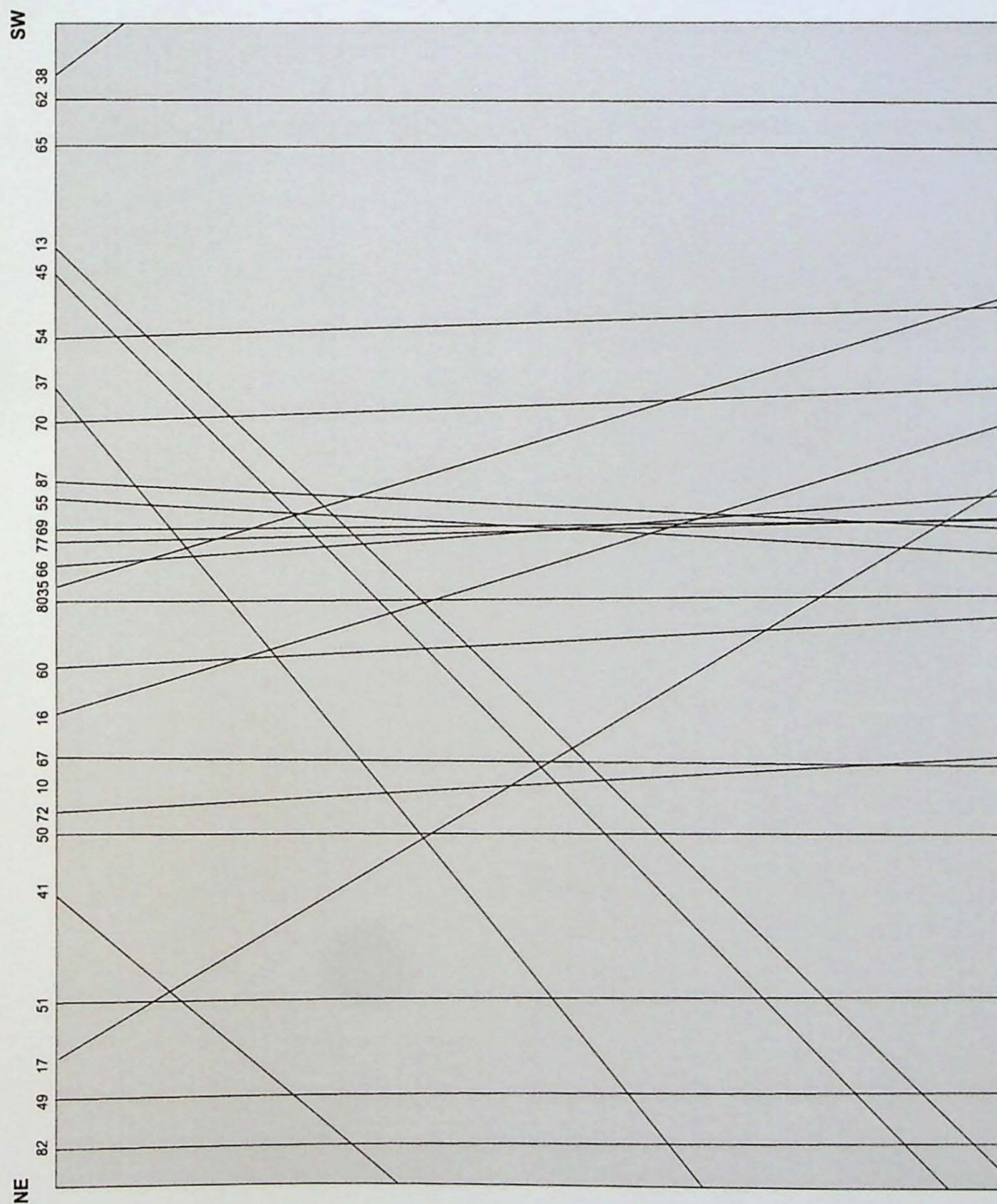


Diagrama de roseta



Modelo de Juntas ortogonais de distensão

I-I'



Escala Gráfica aproximada

Direção da seção N30E

Projeção Polar

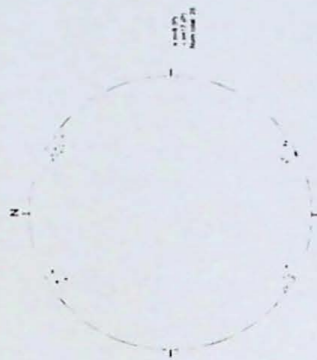


Diagrama de densidade

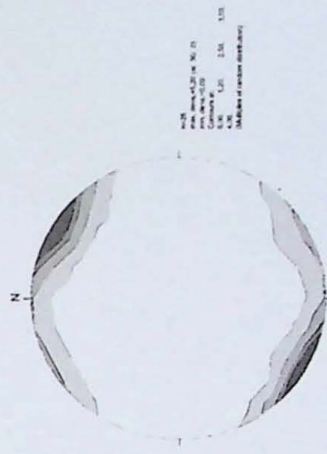
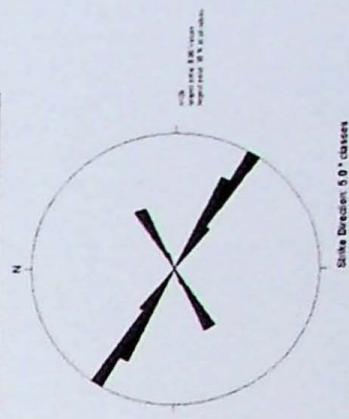


Diagrama de roseta



Anexo 3

Dados do modelo de distribuição de juntas ortogonais de distensão

Projeção dos polos

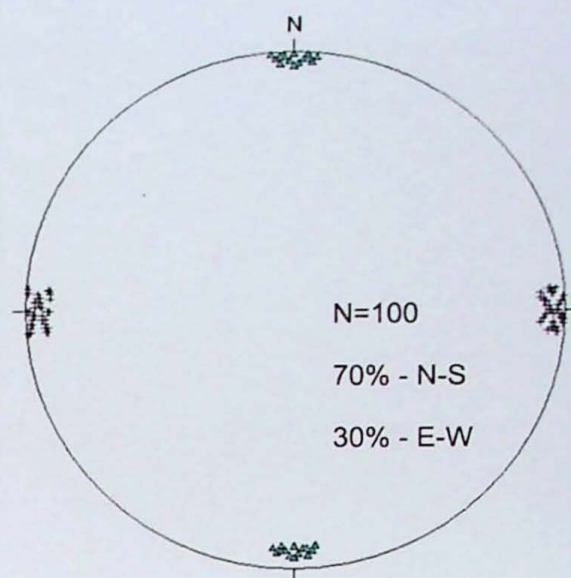


Diagrama de densidade

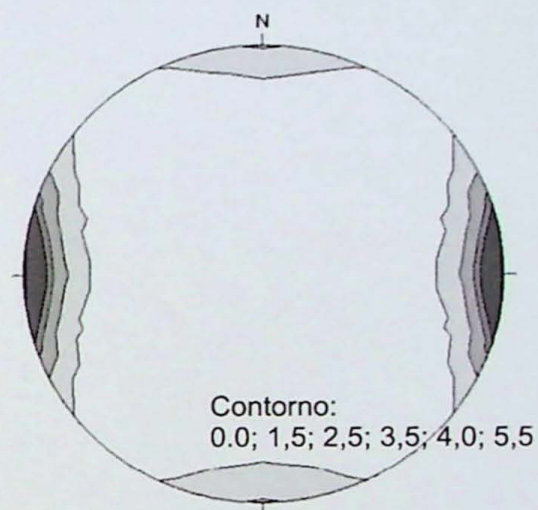


Diagrama de roseta

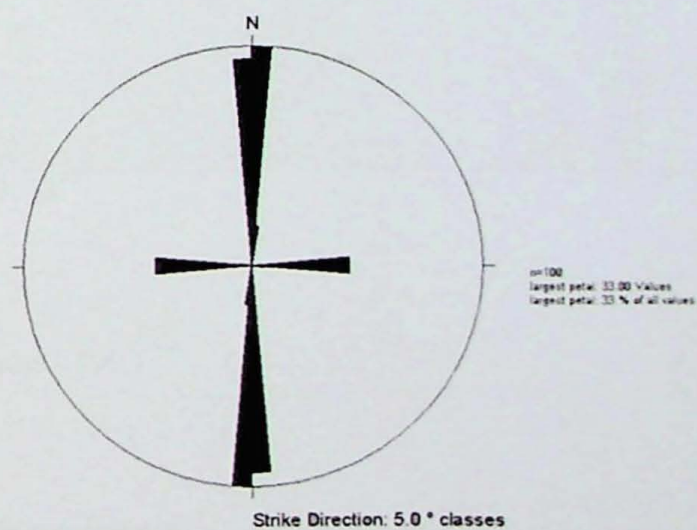
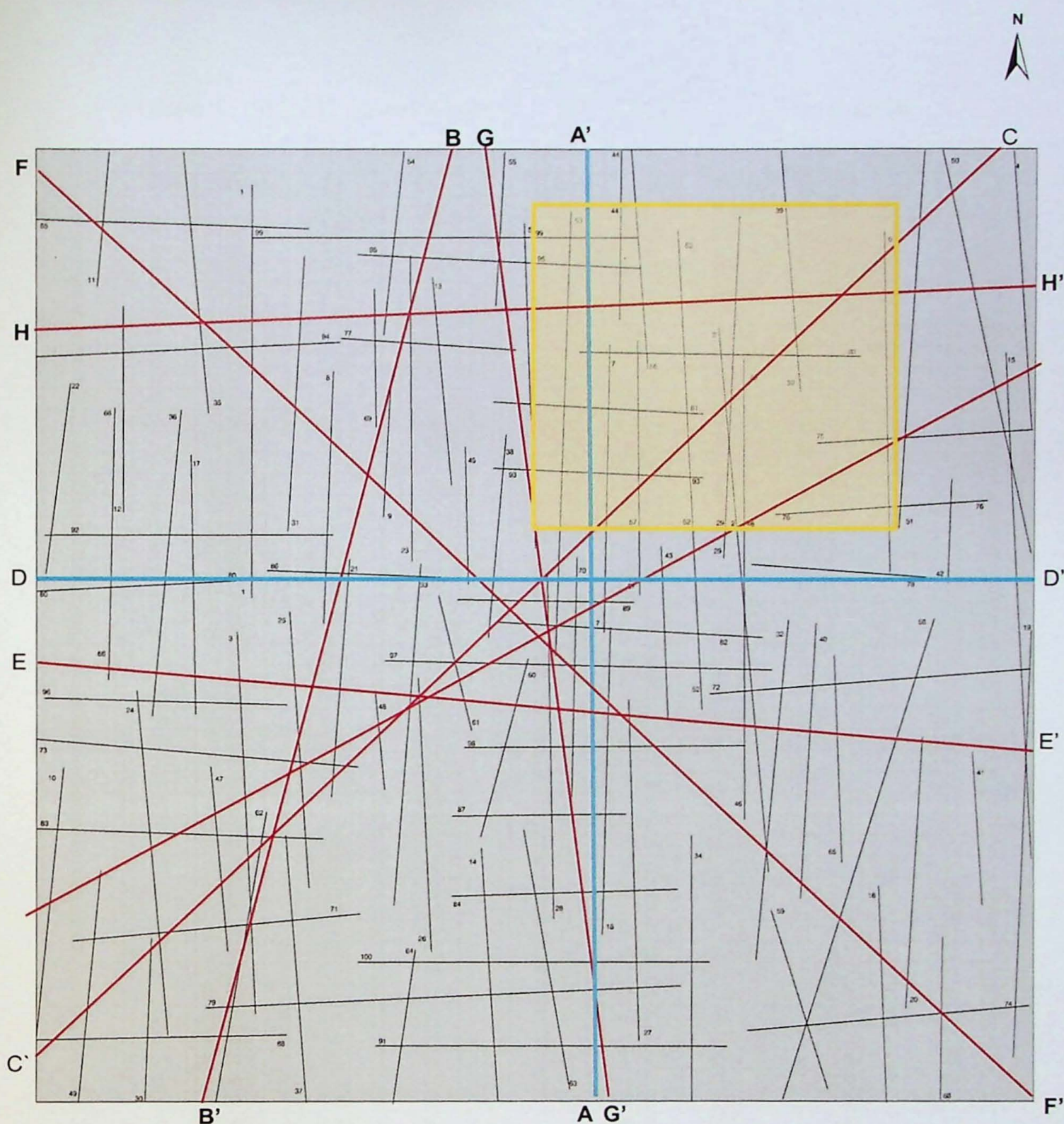


Figura 1 - Projeções estereográficas do modelo de juntas ortogonais de distensão



Legenda

16

Juntas



Bloco de amostragem - BAO

A — **A'** Seções

A — **A'** Seções perpendiculares as direções médias dos set

Figura 2 - Localização das seções no modelo de juntas ortogonais de distensão e localização do bloco de amostragem (BAO)

Tabela 1 - Dados empregados no modelo de distribuição juntas ortogonais de distensão

Junta	Direção	Mergulho	Lp	Ls
1	N-S	80E	0,61	1,52
2	N05W	89NE	0,80	1,50
3	N03W	81NE	0,56	1,52
4	N04W	88NE	0,50	1,50
5	N02W	82NE	0,48	1,51
6	N01W	87NE	0,50	1,50
7	N01E	83SE	0,43	1,51
8	N02E	86SE	0,38	1,50
9	N03E	84SE	0,20	1,51
10	N04E	85SE	0,55	1,51
11	N05E	80SE	0,25	1,52
12	N-S	89E	0,30	1,50
13	N05W	81NE	0,30	1,52
14	N03W	88NE	0,44	1,50
15	N04W	82NE	0,80	1,51
16	N02W	87NE	0,40	1,50
17	N01W	83NE	0,38	1,51
18	N01E	86SE	0,45	1,50
19	N02E	84SE	0,68	1,51
20	N03E	85SE	0,40	1,51
21	N04E	80SE	0,35	1,52
22	N05E	89SE	0,40	1,50
23	N-S	81E	0,45	1,52
24	N05W	88NE	0,50	1,50
25	N03W	82NE	0,40	1,51
26	N04W	87NE	0,40	1,50
27	N02W	83NE	0,50	1,51
28	N01W	86NE	0,50	1,50
29	N01E	84SE	0,50	1,51
30	N02E	85SE	0,30	1,51
31	N03E	80SE	0,40	1,52
32	N04E	89SE	0,50	1,50
33	N05E	81SE	0,50	1,52
34	N-S	88E	0,40	1,50
35	N05W	82NE	0,43	1,51
36	N05E	87NW	0,45	1,50
37	N05W	83SW	0,45	1,51
38	N04E	86NW	0,30	1,50
39	N04W	84SW	0,40	1,51
40	N03E	85NW	0,40	1,51
41	N03W	80SW	0,23	1,52
42	N02E	89NW	0,15	1,50
43	N02W	81SW	0,25	1,52
44	N01E	88NW	0,30	1,50
45	N01W	82SW	0,20	1,51
46	N-S	87W	0,68	1,50
47	N05E	83NW	0,28	1,51
48	N05W	86SW	0,15	1,50
49	N04E	84NW	0,40	1,51
50	N04W	85SW	0,70	1,51

Junta	Direção	Mergulho	Lp	Ls
51	N03E	80NW	0,60	1,52
52	N04W	89SW	0,70	1,50
53	N02E	81NW	0,65	1,52
54	N02W	88SW	0,32	1,50
55	N01E	82NW	0,28	1,51
56	N01W	87SW	0,37	1,50
57	N-S	83W	0,38	1,51
58	N05E	86NW	0,83	1,50
59	N05W	84SW	0,38	1,51
60	N04E	85NW	0,28	1,51
61	N04W	80SW	0,45	1,52
62	N03E	89NW	0,50	1,50
63	N03W	81SW	0,47	1,52
64	N02E	88NW	0,23	1,50
65	N02W	82SW	0,30	1,51
66	N01E	87NW	0,40	1,50
67	N01W	83SW	0,35	1,51
68	N-S	86W	0,30	1,50
69	N-S	84W	0,20	1,51
70	N01E	85NW	0,35	1,51
71	N85E	80NW	0,35	1,52
72	N85E	89SE	0,50	1,50
73	N85W	81NE	0,50	1,52
74	N85E	88NW	0,45	1,50
75	N86E	82NW	0,55	1,51
76	N86E	87SE	0,30	1,50
77	N86W	83NE	0,25	1,51
78	N86W	86SW	0,25	1,50
79	N83E	84NW	0,68	1,51
80	N87E	85SE	0,33	1,51
81	N87W	80NE	0,30	1,52
82	N87W	89SW	0,38	1,50
83	N82E	81NW	0,40	1,52
84	N82E	88SE	0,33	1,50
85	N82E	82SE	0,43	1,51
86	N88W	87SW	0,35	1,50
87	N01E	83NW	0,25	1,51
88	N89E	86SE	0,40	1,50
89	N01W	84NE	0,25	1,51
90	N01W	85SW	0,40	1,51
91	E-W	80N	0,50	1,52
92	E-W	89S	0,40	1,50
93	N87E	81NW	0,30	1,52
94	N87E	88SE	0,48	1,50
95	N83W	82NE	0,40	1,51
96	N87W	87SW	0,40	1,50
97	N89E	83NW	0,55	1,51
98	N89E	86SE	0,40	1,50
99	E-W	84S	0,55	1,51
100	E-W	85N	0,50	1,51

Tabela 2 – Parâmetros Estatísticos

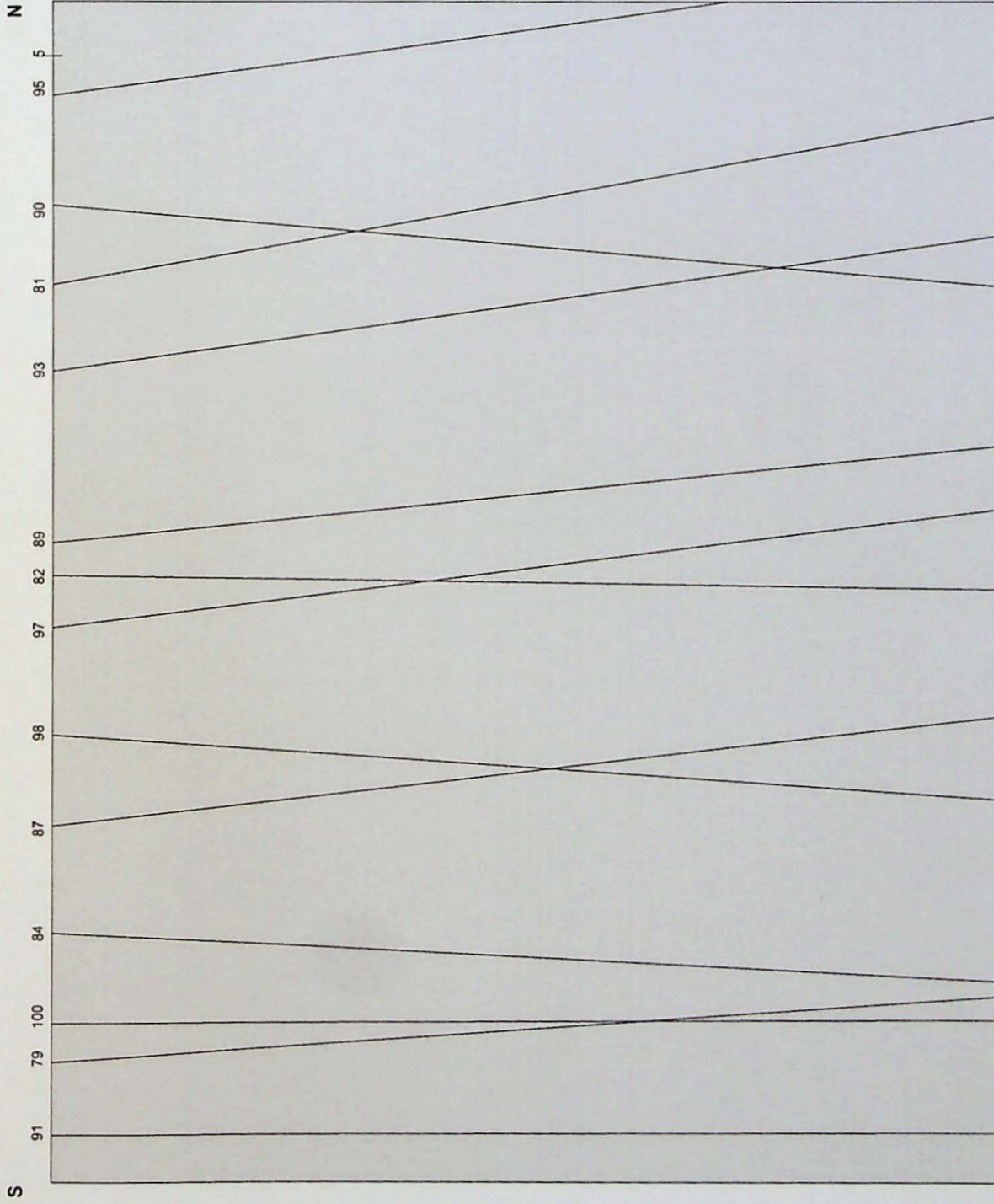
Parâmetros calculados	Lp	Ls
Total	41,637	150,889
Media	0,416	1,509
Desvio padrão	0,139	0,008
variância	0,019	0,000
Erro padrão da média	0,0139	8×10^{-4}

Anexo 4

Seções realizadas para o modelo de distribuição de juntas ortogonais de
distensão

Modelo de Juntas ortogonais de distensão Direção da seção NS

A-A'



0 10 20 35

Escala Gráfica aproximada

Projeção Polar



Diagrama de densidade

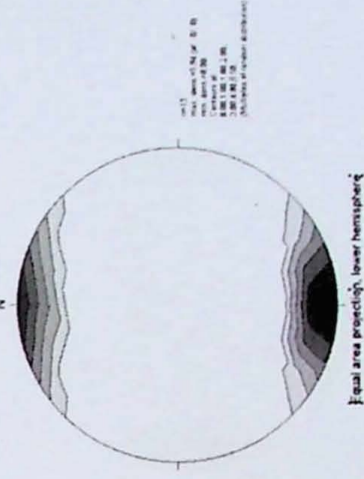
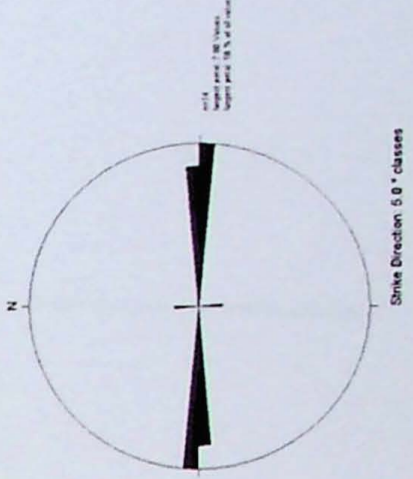
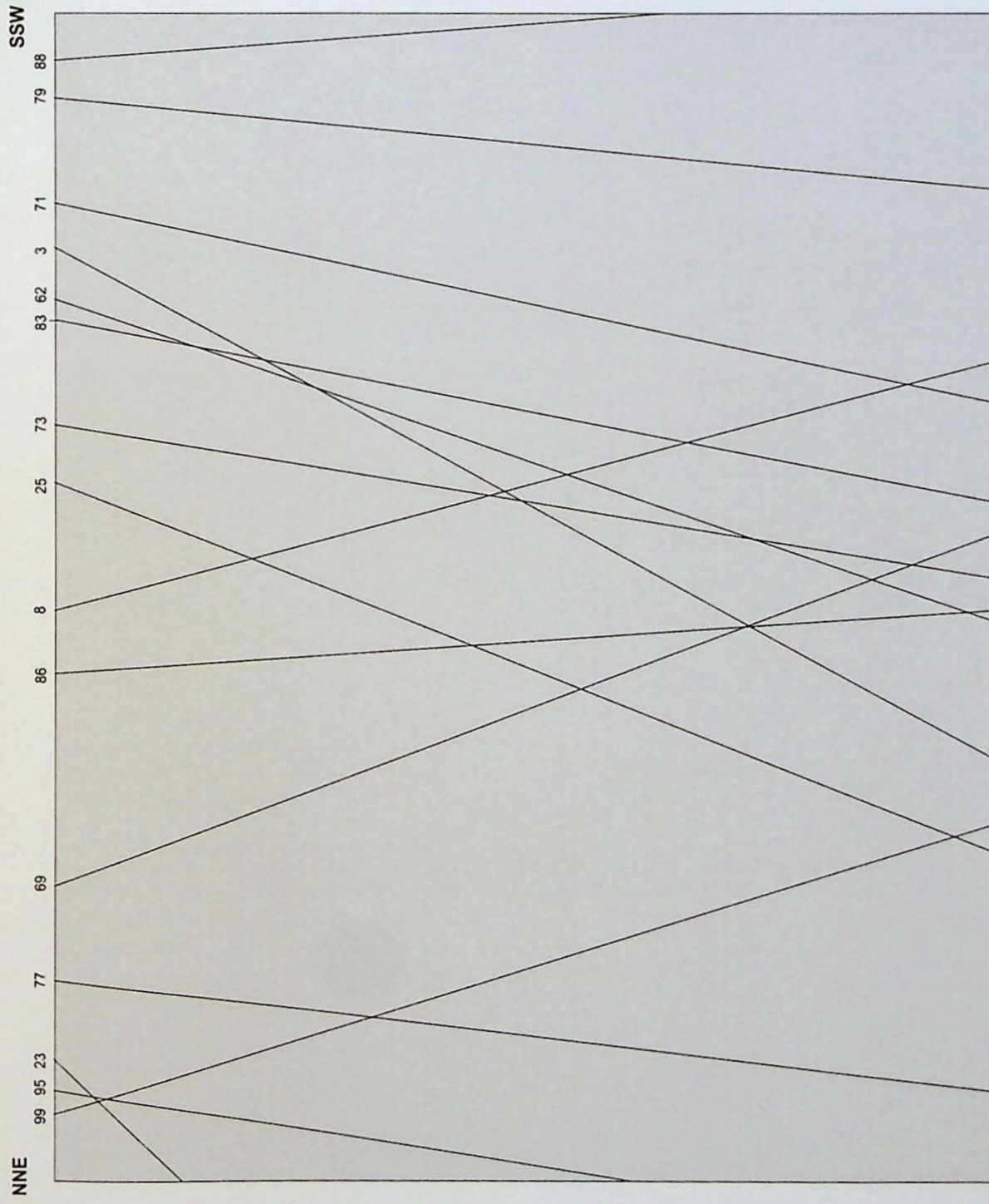


Diagrama de roseta



Modelo de Juntas ortogonais de distensão Direção da seção N10E

B-B'



Projeção Polar

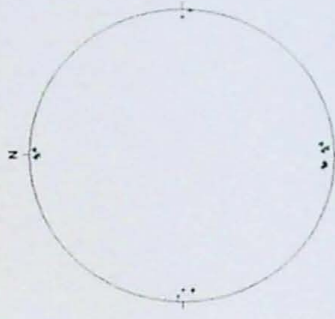


Diagrama de densidade

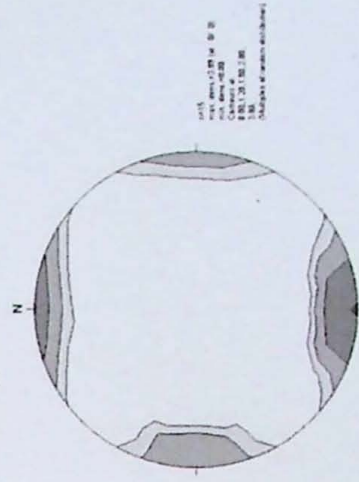
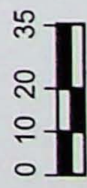
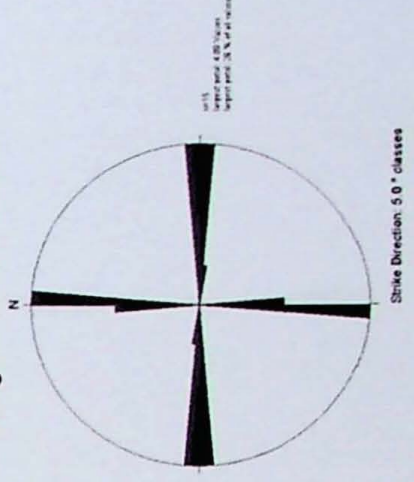


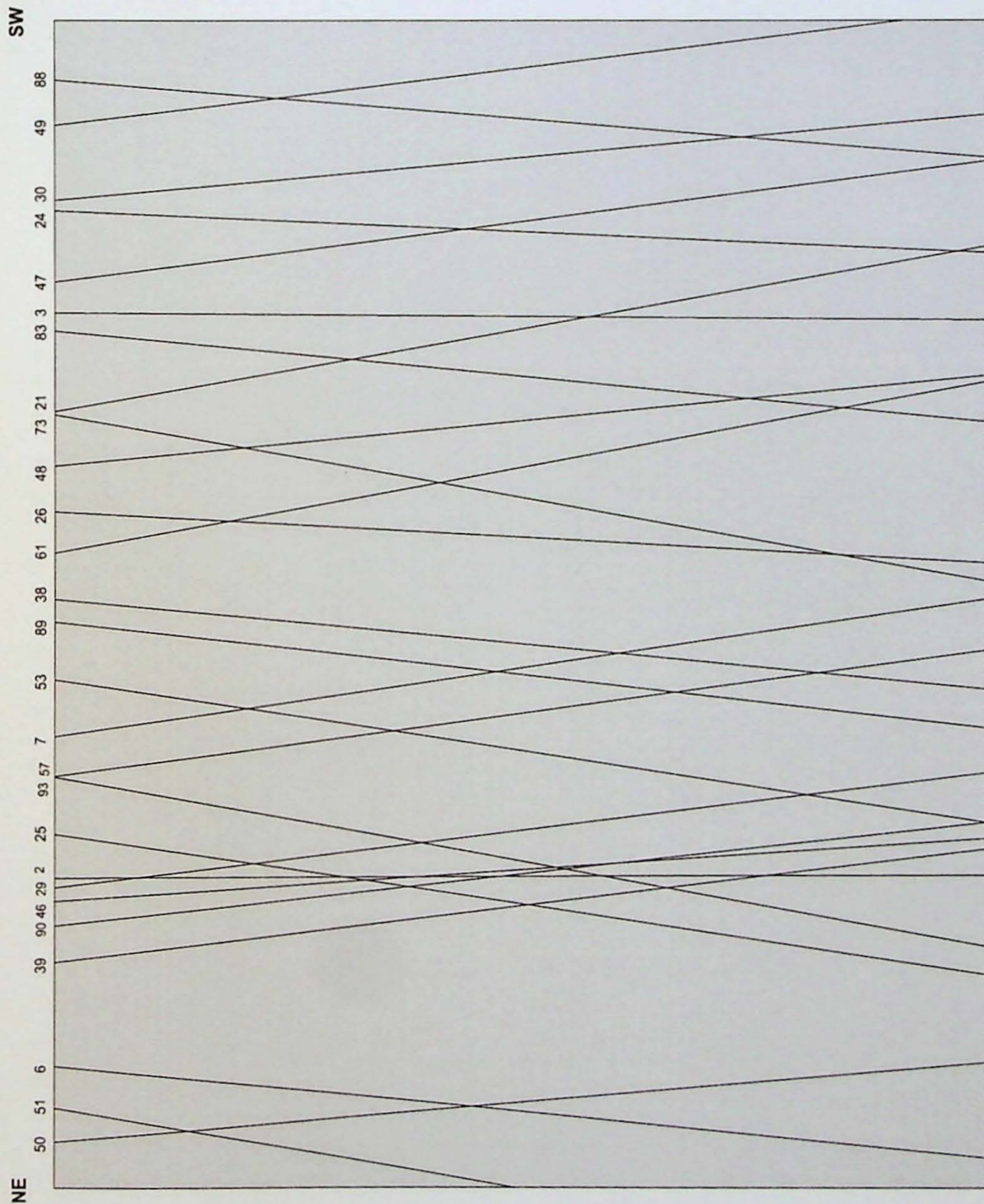
Diagrama de roseta



Escala Gráfica aproximada

Modelo de Juntas ortogonais de distensão Direção da seção N4E

C-C'



Projeção Polar

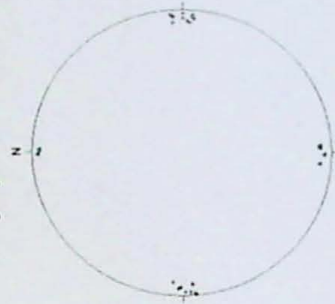


Diagrama de densidade

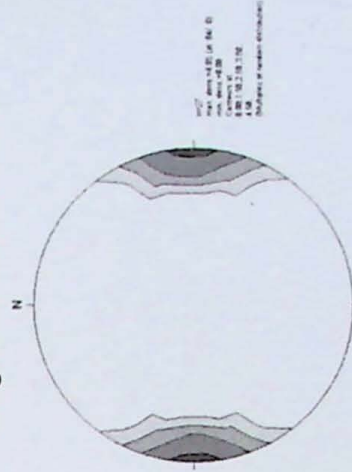
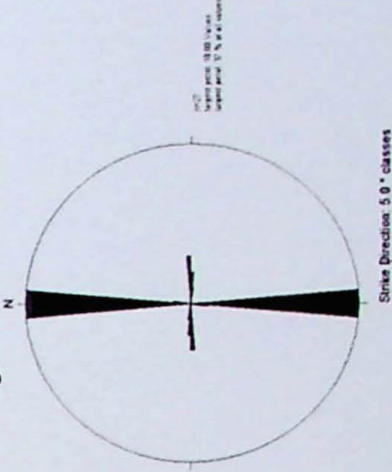


Diagrama de roseta



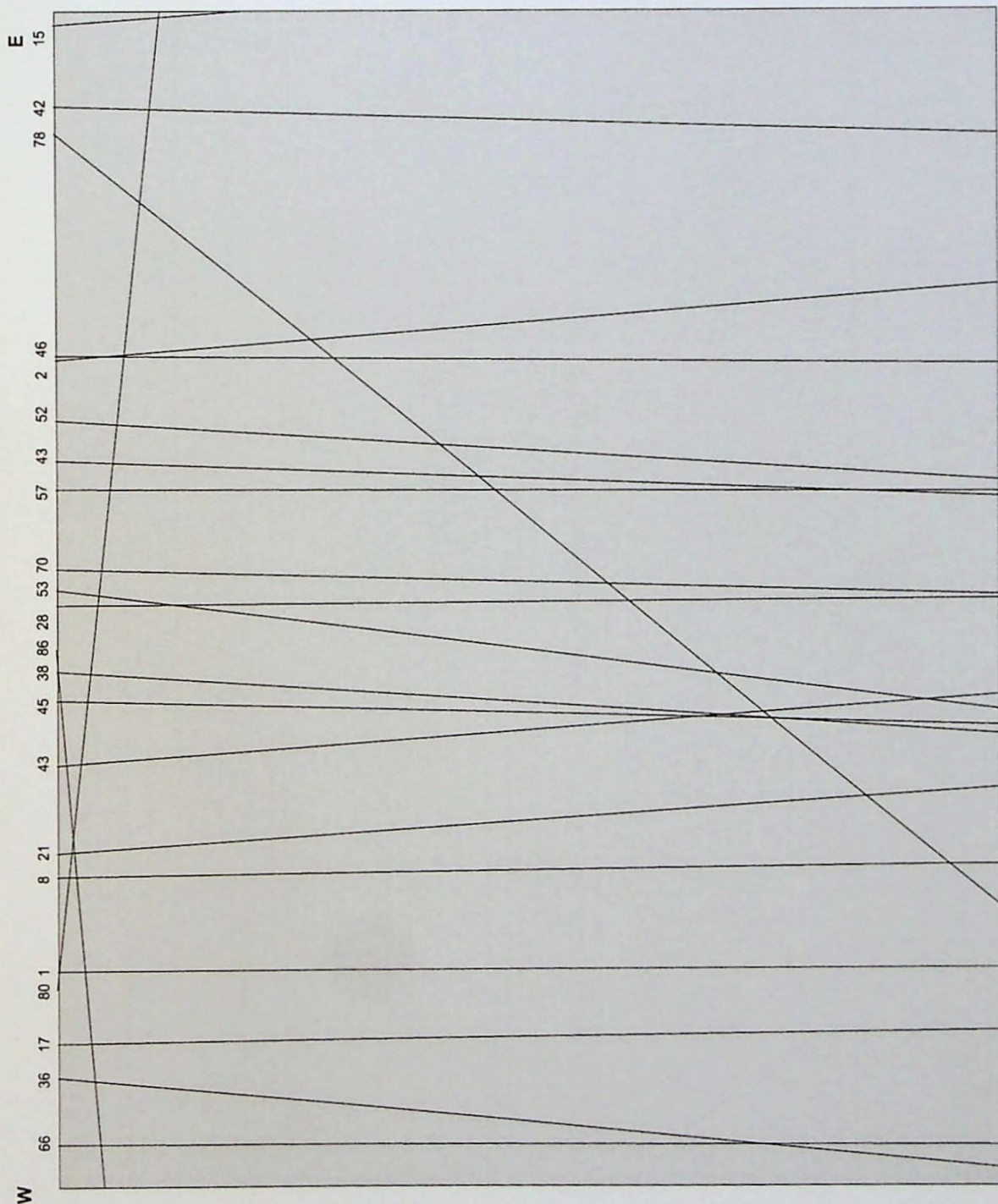
0 10 20 35



Escala Gráfica aproximada

Modelo de Juntas ortogonais de distensão Direção da seção N85E

D-D'



Projeção Polar

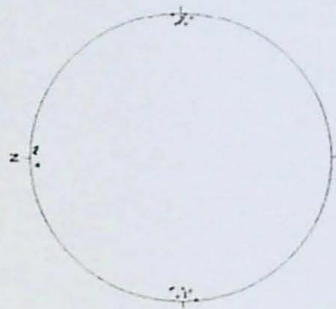
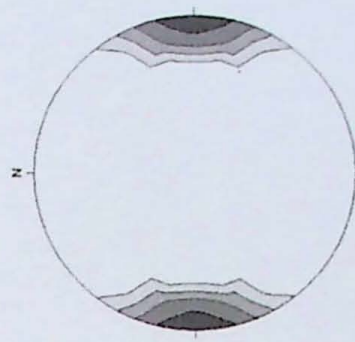


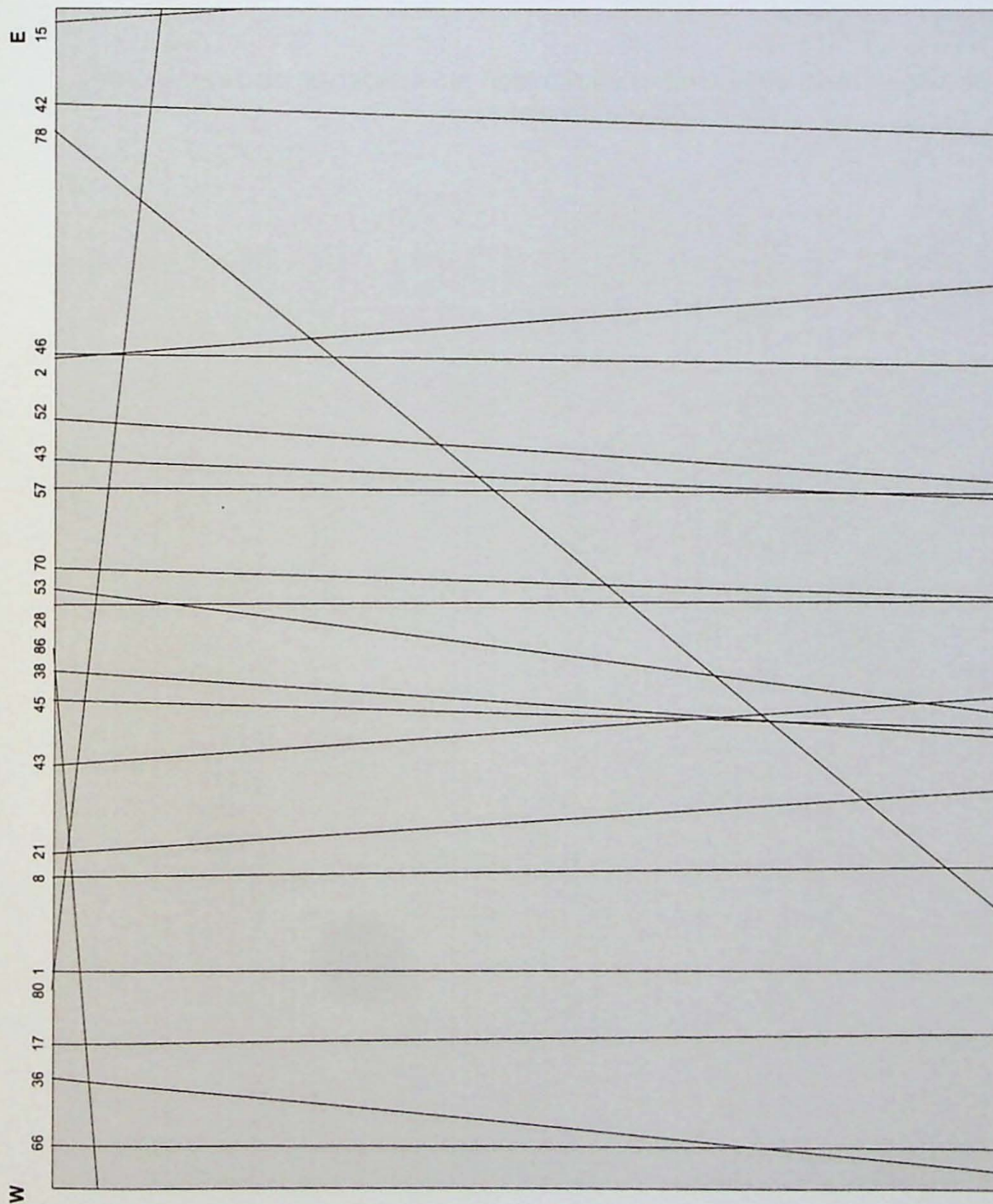
Diagrama de densidade



Modelo de Juntas ortogonais de distensão

Direção da seção E-W

D-D'



Projeção Polar

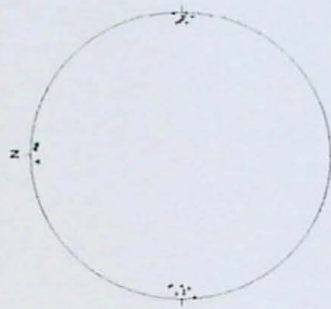


Diagrama de densidade

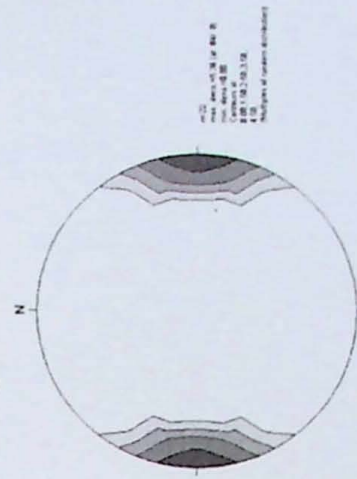
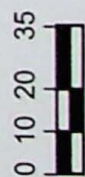
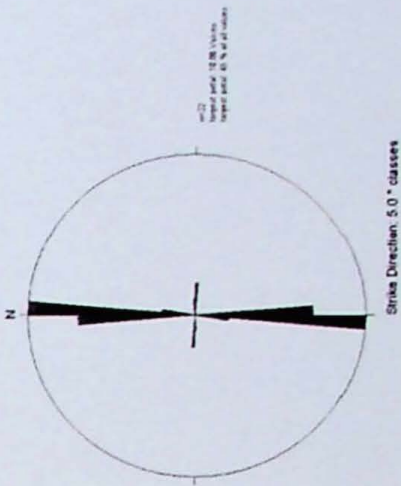


Diagrama de roseta

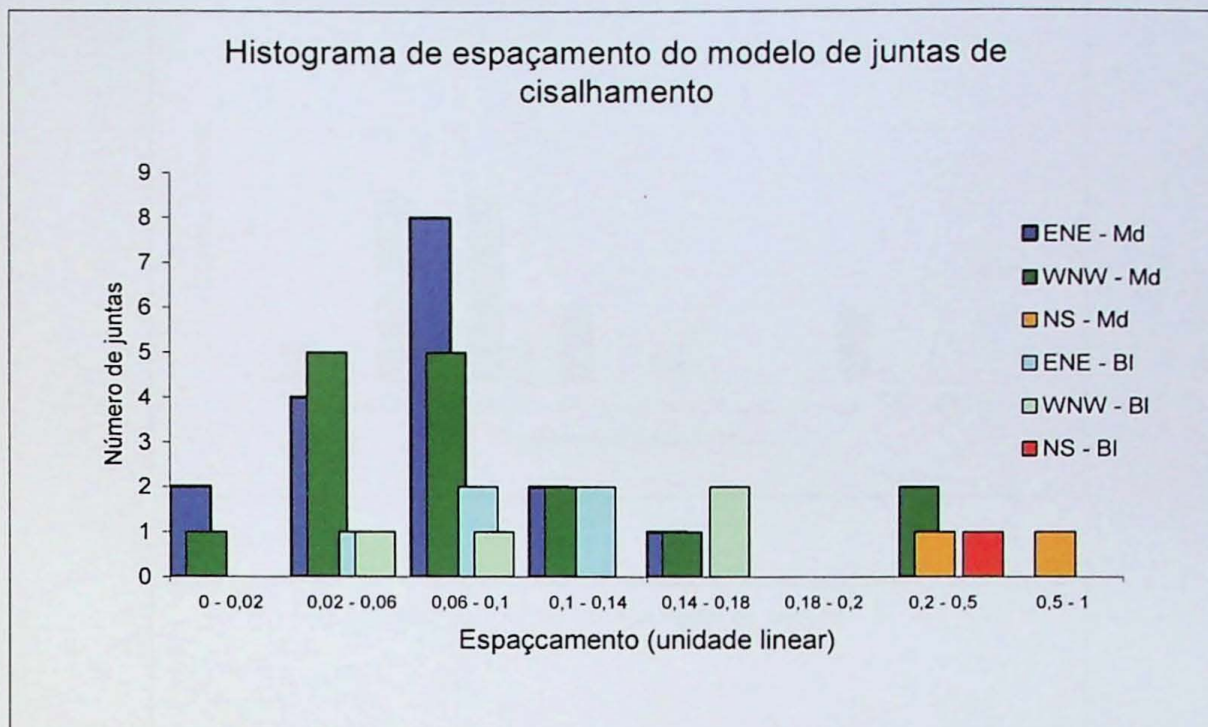


Escala Gráfica aproximada

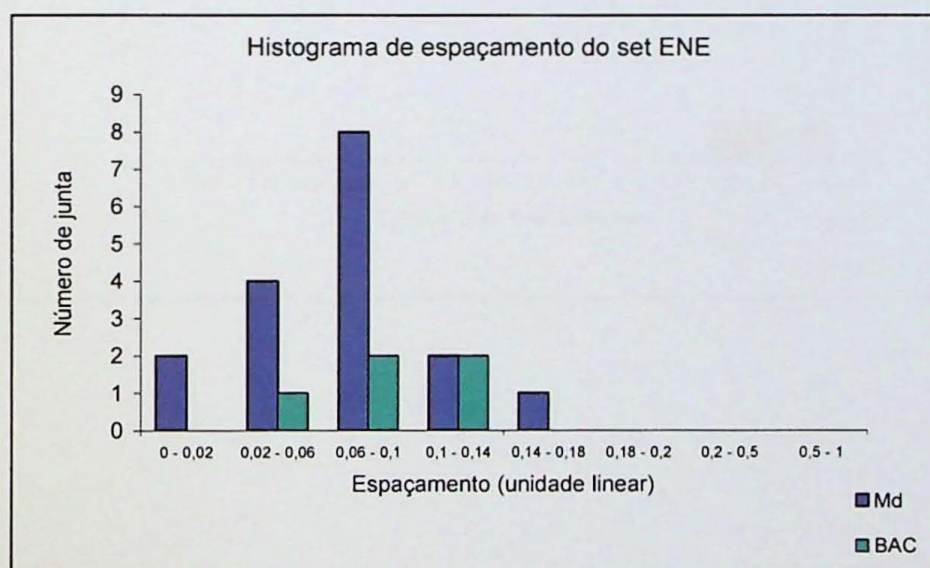
Anexo 5

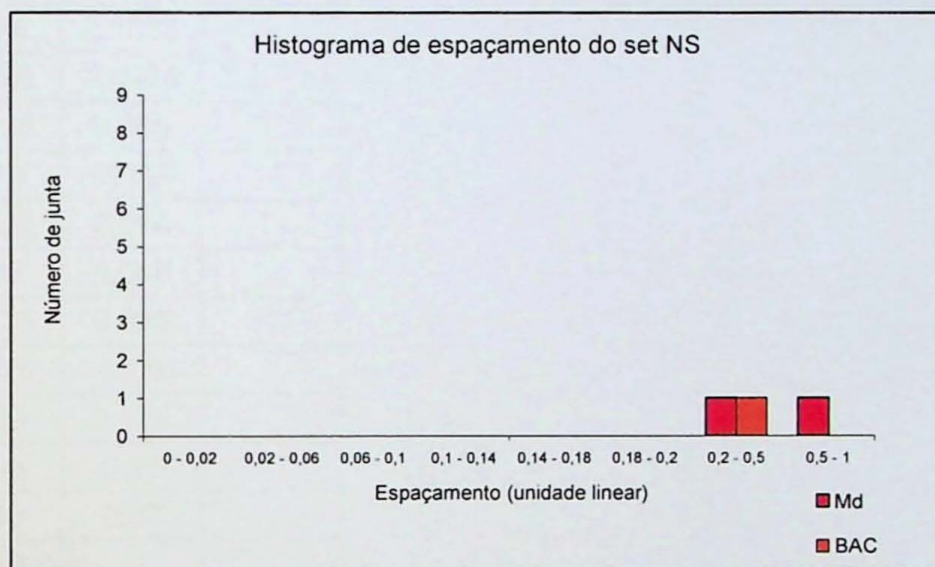
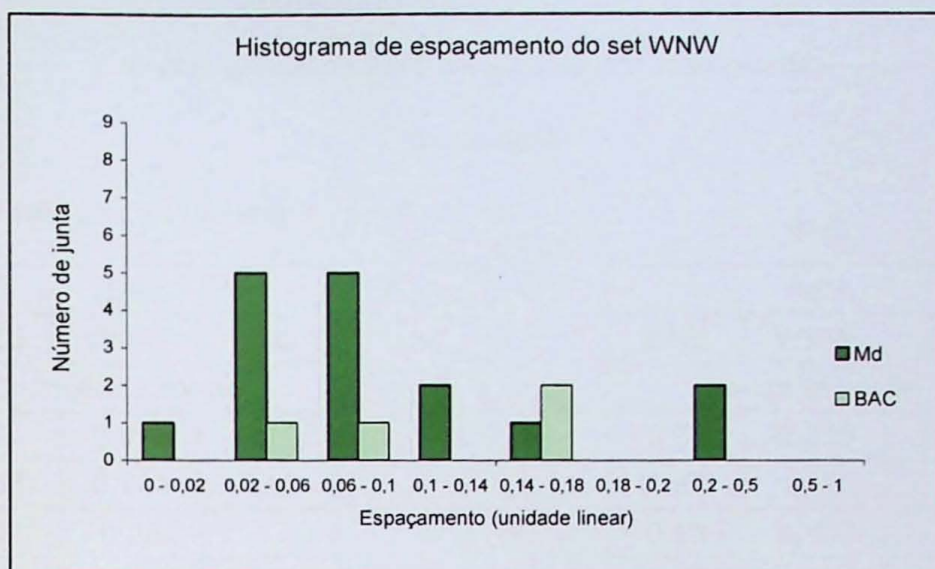
Histogramas de espaçamento obtido para o modelo de distribuição de juntas
cisalhamento e BAC

Histograma do espaçamento encontrado no modelo e no BAC



Histogramas de espaçamento para cada set



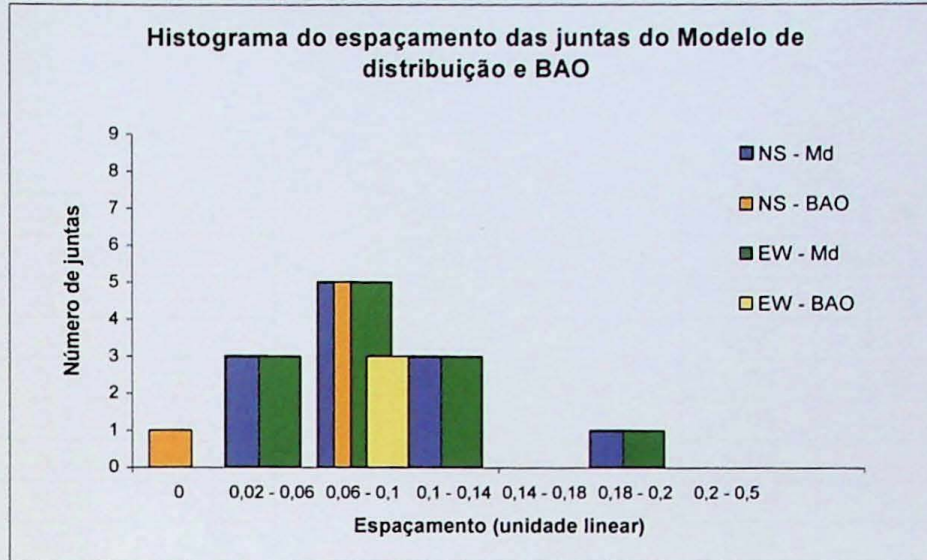


[illegible]

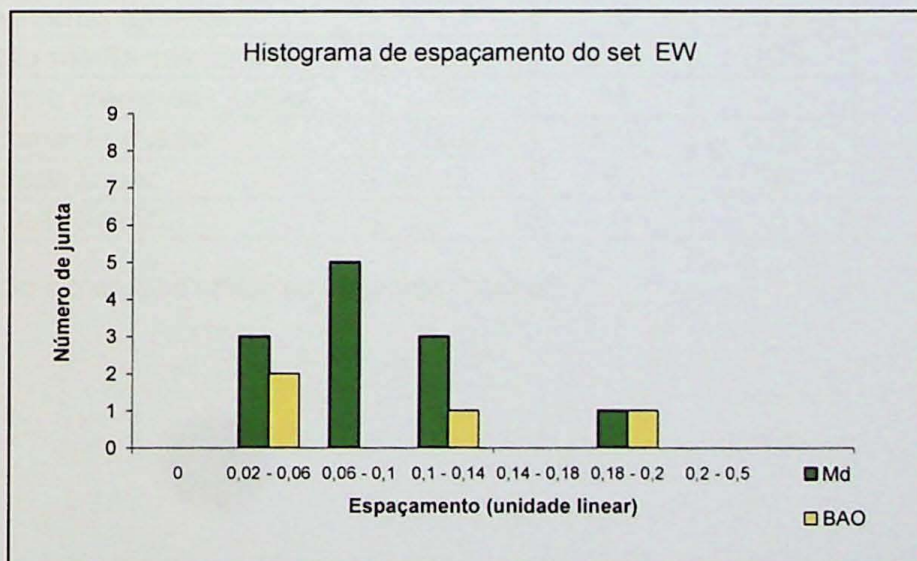
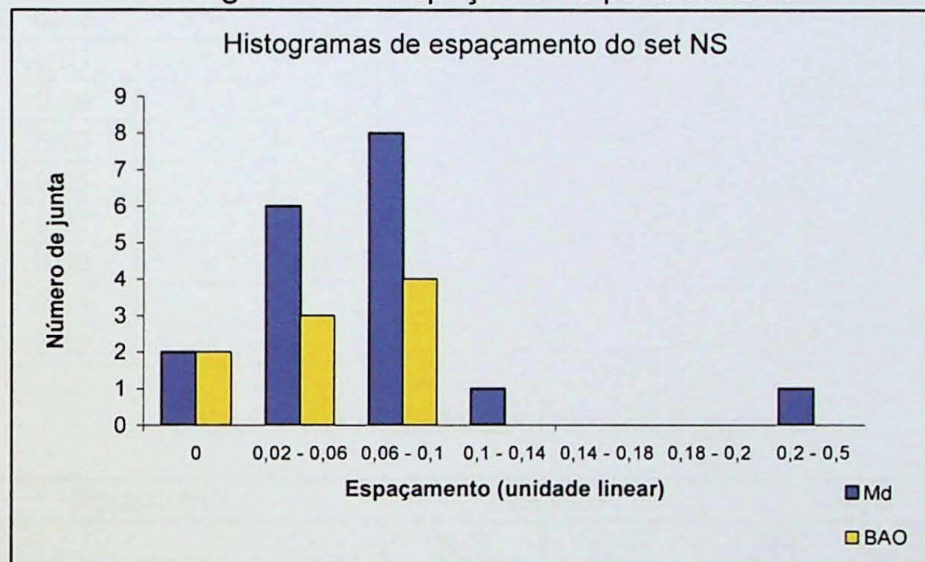
Anexo .6

Histogramas de espaçamento obtido para o modelo de distribuição de juntas ortogonais de distensão e BAO

Histograma do espaçamento encontrado no modelo e no BAO



Histogramas de espaçamento para cada set



Dados utilizados para construção dos histogramas

Espaçamento

Modelo	
sets	
N-S	E-W
unidade linear	
0,08	0,08
0,04	0,04
0,08	0,10
0,11	0,12
0,03	0,10
0,10	0,12
0,07	0,06
0,04	0,04
0,08	0,19
0,02	0,10
0,03	0,09
0,09	0,13
0,03	-
0,05	-
0,07	-
0,00	-
0,29	-
0,10	-

BAO	
sets	
N-S	E-W
unidade linear	
0,07	0,19
0,09	0,04
0,01	0,06
0,03	0,12
0,05	-
0,09	-
0,04	-
0,07	-
0,00	-

Dados para cálculo da densidade linear

Parâmetros	Modelo		BAO	
	N-S	E-W	N-S	E-W
Total de juntas do set	18	12	10	5
Comprimento da seção	1,5	1,5	0,5	0,5
*Direção média das juntas	0,07	0,10	0,05	0,10
*Mergulho médio das juntas	84	86		
Espaçamento médio	0,07	0,10	0,05	0,10
Densidade linear	12	8	20	10
Densidade linear	20		30	

* Direção e mergulho obtido no programa Steronett

Anexo 7

Conceitos de Estatística Descritiva

Estatística descritiva

A estatística é definida como uma metodologia de organização, análise e apresentação de dados (Yamamoto *et. al*, 2001)..

Média ou Esperança Matemática

É a medida de tendência central dos dados, calculada como:

$$E[x] = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

onde $\bar{x}$ corresponde a média,

n ao número de observações de uma variável aleatória, e

x_i a i-ésima observação de uma variável aleatória.

Moda

É o valor médio da classe de maior frequência de uma distribuição.

Variância e Desvio Padrão

A variância mede quanto os valores de uma distribuição distam da sua média (Rocha, 1999). Considerando que a probabilidade de ocorrência de uma observação em “n” observações é igualmente distribuída, ela é calculada como

$$\text{Var}[x] = S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

O desvio padrão (S) corresponde a raiz quadrada da variância, possuindo portanto, a mesma unidade que a variância.

Erro Padrão da média

É obtido pela divisão do desvio padrão pela raiz quadrada do número de amostras:

$$\text{Erro} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

É o método mais recomendado para obter o erro da média para um n maior que 50.

Anexo 8

Dados obtidos para o bloco de amostragem de juntas cisalhamento - BAC

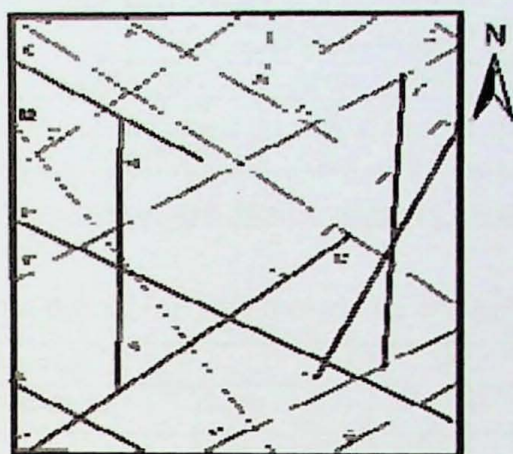


Figura 1 – Bloco de amostragem - BAC

Tabela 1 – Tabela resumo dos dados das juntas do BAC

Junta	Set	Direção	Mergulho	Mergulho aparente	Geometria	Lp (planta)	Ls (seção)	Lb (base)	Área Média
6	ENE	N56E	76SE	71	retangular	0,285	0,525	0,285	0,15
10	ENE	N57E	77SE	68	retangular	0,09	0,23	0,09	0,02
17	ENE	N58E	85NW	85	pentagonal	0,425	0,5	0,175	0,24
18	ENE	N58E	89SE	89	retangular	0,33	0,5	0,33	0,17
20	ENE	N59E	84SE	83	trapezoidal	0,325	0,51	0,455	0,19
30	ENE	N61E	76SE	64	triangular	0,17	0,35	0	0,03
41	ENE	N64E	89NW	88	trapezoidal	0,565	0,5	0,58	0,29
47	ENE	N65E	88NW	84	trapezoidal	0,325	0,505	0,385	0,18
49	WNW	N65W	81SW	71	pentagonal	0,545	0,5	0,37	0,24
50	WNW	N60W	83SW	76	trapezoidal	0,075	0,515	0,205	0,07
51	WNW	N56W	87NE	85	trapezoidal	0,6	0,5	0,55	0,29
79	WNW	N59W	86NE	83	retangular	0,3	0,5	0,3	0,15
80	WNW	N63W	83SW	71	trapezoidal	0,17	0,515	0,01	0,04
82	WNW	N54W	84SE	83	trapezoidal	0,44	0,505	0,4	0,21
90	WNW	N61W	89SW	88	retangular	0,245	0,495	0,245	0,12
94	N-S	N01W	81NE	-	retangular	0,3	0,505	0,3	0,15
96	N-S	N05E	84SE	84	retangular	0,1	0,5	0,1	0,05
97	N-S	N07E	89NW	-	retangular	0,325	0,5	0,325	0,16
Total						5,62	8,66	5,1	2,74

Tabela 2 – Comparação entre as densidades lineares do BAC e do modelo de juntas cisalhamento

	Densidade linear (juntas/unidade linear)			Espaçamento		
	ENE	WNW	N-S	ENE	WNW	NW
Modelo de distribuição	13	10	2	0,07	0,10	0,45
BAC	10	9	4	0,09	0,11	0,15
* Densidade linear obtida pelo número juntas do <i>set</i> localizado perpendicular à seção a direção média do <i>set</i> .						

Tabela 3 Cálculo da área das juntas pelo método do comprimento médio para BAC

Parâmetros		NE	NW	N-S
Comprimento médio em planta	Lpm	0,31	0,34	0,24
Variância	Var	0,0	0,0	0
Desvio padrão	S	0,14	0,18	0,1
Coeficiente de variação	CV	0,43	0,53	0,42
Comprimento médio em seção	Lsm	0,5	0,5	0,5
Variância	Var	0	0	0
Desvio padrão	S	0,1	0,007	0,0002
Coeficiente de variação	CV	0,218	0,014	0,005
Nº de juntas	nj	8	6	3
Percentual de distribuição	f	44,4	38,9	16,7
Área por set	A_{set}	1,14	1,20	0,36
Área Total de vazios		2,70 unidade de área		

Anexo 9

Dados obtidos para o bloco de amostragem de juntas ortogonais - BAO

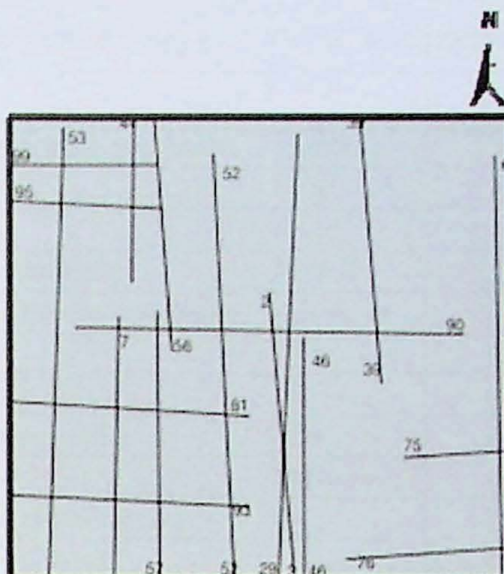


Figura 1 – Bloco de amostragem – BAO

Tabela1 - Tabela resumo dos dados das juntas do BAO

Junta	Set	Direção	Mergulho	Geometria	Lp (planta)	Ls (seção)	Área média
53	N	N02E	81NW	retangular	0,465	0,505	0,235
7	N	N01E	83SW	retangular	0,275	0,5	0,138
57	N	N-S	83W	retangular	0,270	0,5	0,135
52	N	N04W	89SW	retangular	0,435	0,5	0,218
2	N	N05W	89NE	retangular	0,290	0,5	0,145
29	N	N01E	84SW	retangular	0,455	0,5	0,228
46	N	N-S	87W	retangular	0,250	0,5	0,125
39	N	N04W	84SW	retangular	0,300	0,5	0,150
76	E	N86E	87SE	retangular	0,160	0,5	0,080
75	E	N86E	82NW	retangular	0,100	0,5	0,050
90	E	N01W	85SW	retangular	0,405	0,5	0,203
81	E	N87W	80NE	retangular	0,220	0,5	0,110
93	E	N87E	81NW	retangular	0,240	0,5	0,120
95	E	N83W	82NE	retangular	0,150	0,5	0,075
99	E	E-W	84S	retangular	0,150	0,5	0,075
6	N	N01W	87NE	retangular	0,260	0,5	0,130
SOMA .					4,425	8,005	2,215

Tabela 2 – Comparação entre as densidades lineares do BAO e do modelo de juntas ortogonais de distensão

	Densidade linear Juntas/unidade		Espaçamento	
<i>set</i>	N-S	E-W	N-S	E-W
Modelo de distribuição	12	8	0,07	0,10
BAO	14	8	0,05	0,09
* Densidade linear obtida pelo número juntas do <i>set</i> localizado perpendicular a seção a direção média do <i>set</i> .				

Tabela 3 - Cálculo da área das juntas pelo método do comprimento médio para BAO

Parâmetro medido		N-S	E-W
Comprimento médio em planta	Lpm	0,33	0,2
Variância	Var	0,01	0,01
Desvio padrão	S	0,09	0,09
Coeficiente de variação	CV	0,26	0,46
Comprimento médio em seção	Lsm	0,5	0,5
Variância	Var	0	0
Desvio padrão	S	0	0
Coeficiente de variação	CV	0	0
Nº de juntas	nj	9	7
Percentual de distribuição	f	56,2	43,8
Área por set	A _{set}	1,502	0,713
Área Total	2,22 unidade de área		

Anexo 10

Dados de campo

Tabela 1 – Atitudes das juntas medidas

Nº	Set	Direção	Mergulho	Lp (m)	Ls (m)	Área (m ²)
1	N02E	89	89	2,5	0,135	0,338
2	N02E	263	89	1,2	0,135	0,162
3	N02E	89	89	1,8	0,135	0,243
4	N02E	266	85	1,57	0,136	0,213
5	N02E	264	88	1,1	0,135	0,149
6	N02E	270	89	2,47	0,135	0,333
7	N02E	275	80	0,64	0,137	0,088
8	N02E	95	85	1,91	0,136	0,259
9	N02E	265	85	0,8	0,136	0,108
10	N02E	99	88	1,22	0,135	0,165
11	N02E	265	80	1,9	0,137	0,260
12	N02E	95	89	0,66	0,135	0,089
13	N02E	89	84	0,07	0,121	0,008
14	N02E	275	87	0,27	0,120	0,032
15	N02E	89	87	0,18	0,120	0,022
16	N02E	274	89	0,11	0,120	0,013
17	N02E	264	83	0,25	0,121	0,030
18	N02E	80	83	0,3	0,121	0,036
19	N02E	258	83	0,24	0,121	0,029
20	N02E	75	89	0,22	0,120	0,026
21	N02E	83	89	0,4	0,120	0,048
22	N02E	261	89	0,28	0,120	0,034
23	N02E	274	89	0,27	0,120	0,032
24	N02E	269	84	0,14	0,121	0,017
25	N02E	259	80	0,9	0,122	0,110
26	N02E	88	80	0,24	0,132	0,032
27	N02E	280	82	0,1	0,131	0,013
28	N02E	108	90	0,28	0,130	0,036

Nº	Set	Direção	Mergulho	Lp (m)	Ls (m)	Área (m ²)
51	N53W	30	88	1,05	0,130	0,137
52	N53W	220	89	0,22	0,130	0,029
53	N53W	226	78	0,25	0,133	0,033
54	N53W	31	90	0,9	0,130	0,117
55	N53W	30	81	0,21	0,132	0,028
56	N53W	29	71	0,42	0,137	0,058
57	N53W	41	89	0,21	0,130	0,027
58	N53W	214	89	0,08	0,130	0,010
59	N53W	211	89	0,3	0,130	0,039
60	N53W	215	82	0,23	0,131	0,030
61	N53W	29	89	0,42	0,130	0,055
62	N53W	220	89	0,1	0,130	0,013
63	N53W	221	88	0,16	0,130	0,021
64	N53W	225	80	0,15	0,122	0,018
65	N53W	31	89	0,22	0,130	0,029
66	N53W	31	89	0,13	0,130	0,017
67	N53W	31	85	0,22	0,130	0,029
68	N53W	214	88	0,26	0,130	0,034
69	N53W	44	89	0,35	0,130	0,046
70	N53W	30	89	0,21	0,130	0,027
71	N53W	39	89	0,1	0,130	0,013
72	N53W	35	89	0,15	0,130	0,020
73	N53W	36	89	0,16	0,130	0,021
74	N53W	213	89	0,54	0,130	0,070
75	N53W	23	84	0,24	0,131	0,031
76	N53W	217	86	0,43	0,130	0,056
77	N53W	215	89	0,17	0,130	0,022
78	N53W	218	89	0,25	0,130	0,033

29	N02E	100	90	0,4	0,130	0,052
30	N02E	102	89	0,24	0,130	0,031
31	N02E	91	89	0,69	0,130	0,090
32	N02E	267	85	0,53	0,130	0,069
33	N02E	93	83	0,2	0,131	0,026
34	N02E	95	86	0,18	0,130	0,023
35	N02E	107	88	0,16	0,130	0,021
36	N02E	80	88	0,14	0,130	0,018
37	N02E	105	85	0,43	0,130	0,056
38	N02E	98	84	0,28	0,131	0,037
39	N02E	92	85	0,17	0,130	0,022
40	N53W	211	89	0,18	0,130	0,023
41	N53W	221	84	0,14	0,131	0,018
42	N53W	224	86	0,23	0,130	0,030
43	N53W	212	85	0,22	0,130	0,029
44	N53W	43	89	0,07	0,130	0,009
45	N53W	220	80	0,2	0,122	0,024
46	N53W	215	85	0,06	0,130	0,008
47	N53W	217	89	0,1	0,130	0,013
48	N53W	215	88	0,3	0,130	0,039
49	N53W	215	82	0,17	0,131	0,022
50	N53W	216	89	0,3	0,130	0,039

79	N53W	216	89	0,17	0,130	0,022
80	N53W	38	89	0,45	0,130	0,059
81	N53W	32	85	0,63	0,130	0,082
82	N53W	212	83	0,25	0,131	0,033
83	N53W	28	80	0,2	0,122	0,024
84	N53W	37	82	0,86	0,131	0,113
85	N53W	220	85	0,34	0,130	0,044
86	N53W	29	85	0,43	0,130	0,056
87	N53W	221	76	0,34	0,134	0,046
88	N53W	213	89	0,58	0,130	0,075
89	N53W	37	89	0,5	0,130	0,065
90	N53W	37	89	0,31	0,130	0,040
91	N53W	210	89	0,19	0,130	0,025
92	N53W	50	85	0,23	0,130	0,030
93	N53W	30	80	0,19	0,264	0,050
94	N53W	213	85	0,08	0,261	0,021
95	N53W	222	87	0,46	0,260	0,120
96	N53W	40	85	0,78	0,261	0,204
97	N53W	36	85	0,58	0,261	0,151
98	N53W	220	87	0,5	0,260	0,130
99	N53W	230	85	0,3	0,261	0,078
100	N53W	228	84	0,29	0,261	0,076

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos

Parâmetros calculados	Lp	Ls	Área
Total	44,200	14,002	6,232
Media	0,442	0,140	0,062
Desvio padrão	0,478	0,036	0,067
Variância	0,231	0,001	0,005

Tabela 3 – Número de juntas medidas por local de amostragem

	Set N53W			Set N02E		
Locais de exposição	Nºde juntas	Lp m (m)	Espessura da camada	Nºde juntas	Lp m (m)	Espessura da camada
Local A	41	0,261	0,13	14	1,48	0,130
Local B	12	0,405	0,13	13	0,289	0,120
Local C	8	0,308	0,26	12	0,279	0,135
Total de juntas por set	61			39		

Anexo 11

Fotos das aberturas das juntas

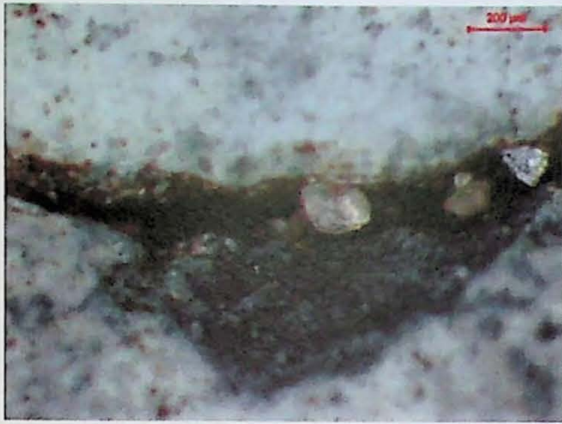


Foto- 1a - Junta A psi 1

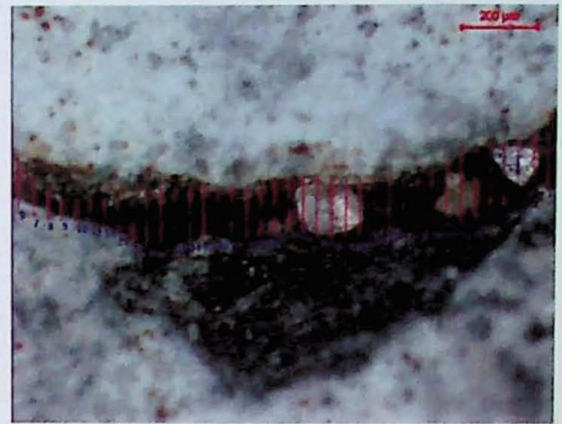


Foto- 1b - psi 1, abertura média de 208,16 $\times 10^{-4}$ m

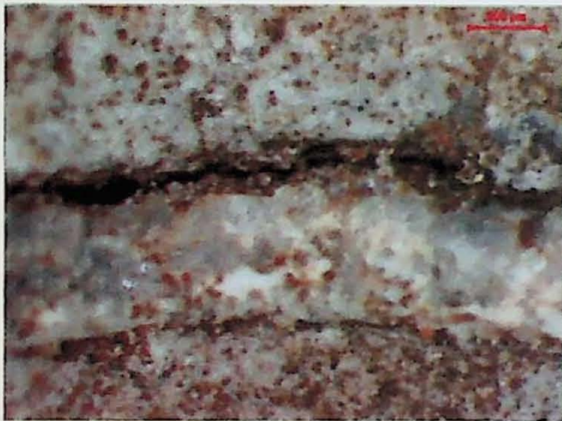


Foto- 4a - Junta B psi 1

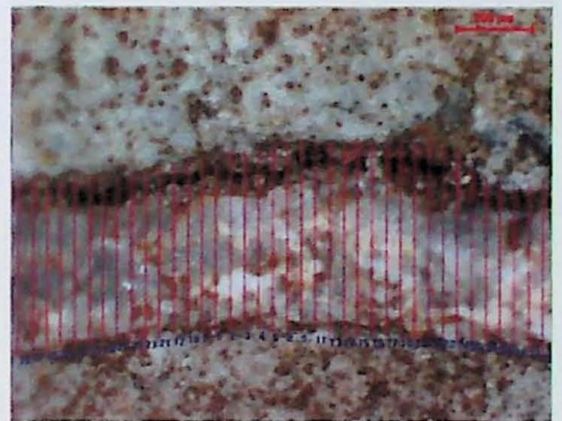


Foto- 4b - psi 1, abertura média de 451,341 $\times 10^{-6}$ m

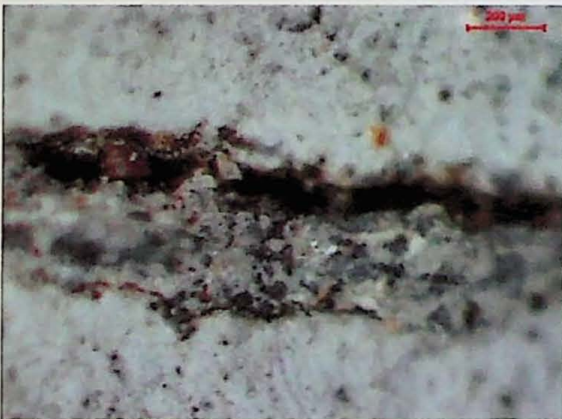


Foto- 5a - Junta B psi 1

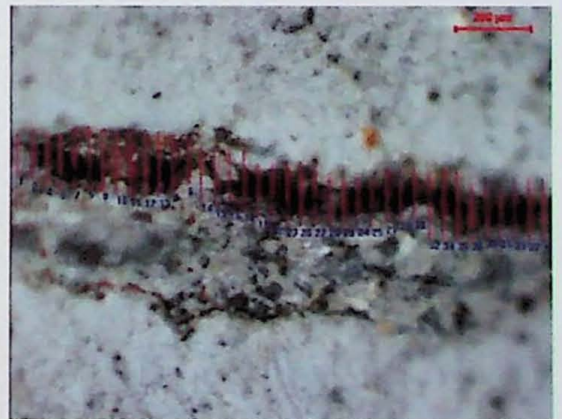


Foto- 5b - psi 1, abertura média de 154,47 $\times 10^{-6}$ m

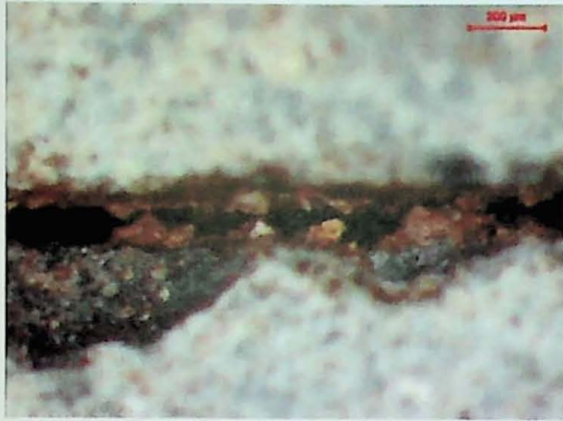


Foto- 6a Junta D -psi 1

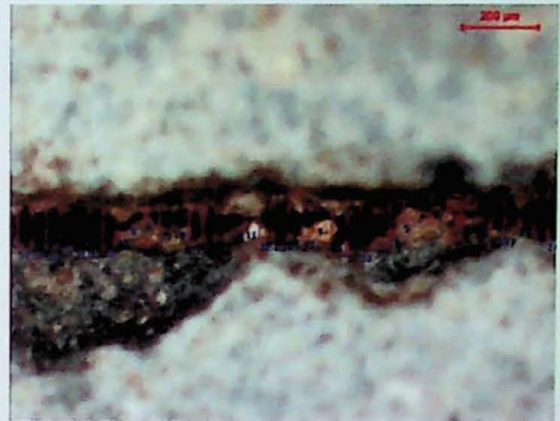


Foto- 6b - psi 1, abertura média de 79,1 $\times 10^{-6}$ m



Foto- 7a Junta E -psi 1



Foto- 7b - psi 1, abertura média de 53,1 $\times 10^{-6}$ m



Foto- 8a Junta F -psi 1

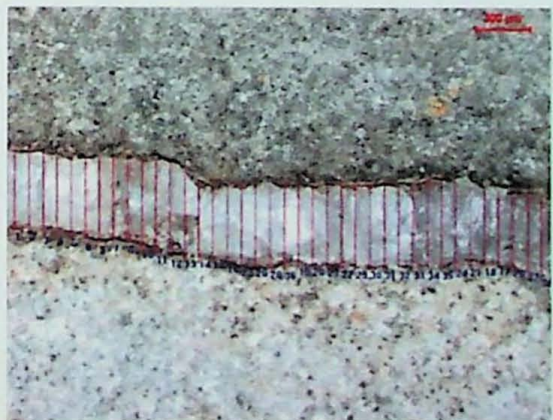


Foto- 8b - psi 1, abertura média de 448,31 $\times 10^{-6}$ m

A-1					A-2					A-3					B-3				
Features					Features					Features					Features				
Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)		Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)		Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)		Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)	
1	750	263	201.96		1	750	272	115.94		1	710	350	233.75		1	590	302	74.8	
2	730	274	198.22		2	730	273	117.81		2	690	351	228.14		2	610	302	74.8	
3	10	287	196.35		3	710	278	125.29		3	650	352	231.88		3	750	304	78.54	
4	30	292	177.65		4	670	279	87.89		4	670	352	231.88		4	630	306	78.54	
5	50	301	187		5	690	279	123.42		5	630	354	254.32		5	650	306	74.8	
6	710	301	230.01		6	650	281	65.45		6	430	355	201.96		6	730	307	76.67	
7	70	306	190.74		7	610	284	50.49		7	410	356	203.83		7	670	308	78.54	
8	90	308	190.74		8	630	284	52.36		8	550	356	222.53		8	690	308	76.67	
9	690	308	231.88		9	570	285	50.49		9	530	357	228.14		9	710	308	78.54	
10	110	309	188.87		10	590	285	50.49		10	730	357	256.19		10	570	312	93.5	
11	130	312	188.87		11	550	286	54.23		11	510	358	239.36		11	10	319	61.71	
12	670	315	235.62		12	470	295	56.1		12	610	358	244.97		12	550	320	108.46	
13	150	318	194.48		13	530	301	86.02		13	450	359	211.31		13	470	321	104.72	
14	650	320	237.49		14	350	302	78.54		14	390	361	213.18		14	490	321	108.46	
15	590	323	207.57		15	370	303	76.67		15	470	361	241.23		15	510	322	112.2	
16	610	323	220.66		16	490	304	86.02		16	490	361	244.97		16	30	323	69.19	
17	630	323	233.75		17	330	307	93.5		17	570	364	250.58		17	450	323	99.11	
18	530	324	173.91		18	430	307	84.15		18	590	364	254.32		18	530	323	114.07	
19	550	324	183.26		19	450	307	80.41		19	750	365	278.63		19	50	325	72.93	
20	570	324	190.74		20	510	307	97.24		20	370	368	226.27		20	130	326	71.06	
21	510	325	172.04		21	310	308	100.98		21	350	382	254.32		21	150	326	65.45	
22	490	328	177.65		22	410	309	86.02		22	330	390	252.45		22	170	329	65.45	
23	470	330	181.39		23	290	311	108.46		23	310	395	235.62		23	70	330	82.28	
24	450	333	188.87		24	390	314	95.37		24	290	396	228.14		24	390	330	89.76	
25	430	335	196.35		25	90	317	41.14		25	10	400	187		25	410	330	95.37	
26	470	336	226.27		26	270	320	119.68		26	30	400	183.26		26	90	336	93.5	
27	250	336	218.79		27	210	321	72.93		27	270	400	228.14		27	250	337	76.67	
28	410	337	203.83		28	230	321	78.54		28	50	401	185.13		28	370	337	100.98	
29	390	340	213.18		29	250	321	82.28		29	70	401	185.13		29	270	338	76.67	
30	270	341	220.66		30	190	322	61.71		30	90	402	187		30	430	338	119.68	
31	230	345	239.36		31	170	325	59.84		31	250	405	235.62		31	110	339	97.24	
32	370	345	226.27		32	70	326	57.97		32	230	410	239.36		32	290	339	78.54	
33	290	346	218.79		33	150	328	59.84		33	210	414	246.84		33	310	340	82.28	
34	310	346	211.31		34	130	333	67.32		34	110	416	215.05		34	330	341	95.37	
35	330	346	211.31		35	110	335	71.06		35	190	416	282.37		35	350	341	102.85	
36	350	346	230.01		36	50	338	80.41		36	130	418	222.53		36	190	342	87.89	
37	210	351	254.32		37	30	345	97.24		37	150	418	293.59		37	230	344	91.63	
38	190	354	259.93		38	10	348	112.2		38	170	418	293.59		38	210	345	93.5	
Total	14440	12275	7910.1		Total	14440	11661	3085.5		Total	14440	14441	8852.58		Total	14440	12348	3302.42	
Mean	380	323.026	208.161		Mean	380	306.868	81.197		Mean	380	380.026	232.963		Mean	380	324.947	86.906	
Std Dev	219.317	20.952	22.701		Std Dev	219.317	20.511	22.909		Std Dev	219.317	24.575	27.977		Std Dev	219.317	13.292	14.76	
Std Err	35.578	3.399	3.683		Std Err	35.578	3.327	3.716		Std Err	35.578	3.987	4.538		Std Err	35.578	2.156	2.394	
Max	750	354	259.93		Max	750	348	125.29		Max	750	418	293.59		Max	750	345	119.68	
Min	10	263	172.04		Min	10	272	41.14		Min	10	350	183.26		Min	10	302	61.71	
2-s Ran	877.268	83.807	90.805		2-s Ran	877.268	82.043	91.637		2-s Ran	877.268	98.299	111.906		2-s Ran	877.268	53.169	59.041	
Features	38				Features	38				Features	38				Features	38			

1282,704

B-3_total					B-4					B-5					B-6					C-3				
Features					Features					Features					Features					Features				
Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)		Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)		Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)		Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)		Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)	
1	650	209	9.35		1	10	233	108.46		1	330	350	276.76		1	310	354	244.97		1	750	285	157.08	
2	310	445	461.89		2	30	241	123.42		2	350	350	265.54		2	330	354	241.23		2	730	296	155.21	
3	330	445	465.63		3	250	247	125.29		3	310	351	286.11		3	290	355	246.84		3	710	301	187	
4	350	445	471.24		4	50	248	136.51		4	290	353	287.98		4	350	355	239.36		4	690	305	203.83	
5	290	446	456.28		5	110	252	162.69		5	270	354	271.15		5	270	357	250.58		5	650	306	175.78	
6	370	447	478.72		6	70	253	145.86		6	370	354	244.97		6	370	357	235.62		6	670	307	205.7	
7	270	448	452.54		7	90	253	162.69		7	230	355	256.19		7	250	359	250.58		7	630	316	192.61	
8	390	448	488.07		8	130	254	162.69		8	250	355	256.19		8	230	362	254.32		8	610	320	177.65	
9	410	449	493.68		9	230	256	157.08		9	210	358	261.8		9	390	363	239.36		9	590	324	166.43	
10	250	450	443.19		10	150	260	162.69		10	390	362	243.1		10	210	373	274.89		10	570	328	155.21	
11	430	450	495.55		11	170	263	170.17		11	190	365	276.76		11	410	375	254.32		11	550	335	157.08	
12	230	453	441.32		12	190	264	173.91		12	410	368	243.1		12	190	387	301.07		12	270	342	134.64	
13	450	454	504.9		13	210	264	173.91		13	430	375	252.45		13	170	395	316.03		13	290	343	145.86	
14	470	454	504.9		14	270	270	147.73		14	170	379	306.68		14	430	399	282.37		14	490	343	166.43	
15	490	454	506.77		15	290	277	158.95		15	450	381	258.06		15	150	400	325.38		15	510	343	166.43	
16	510	454	506.77		16	310	281	166.43		16	150	395	342.21		16	130	407	338.47		16	530	343	166.43	
17	530	454	506.77		17	330	284	162.69		17	470	395	276.76		17	110	413	351.56		17	370	344	151.47	
18	550	454	504.9		18	350	292	142.12		18	490	402	284.24		18	10	416	372.13		18	470	344	162.69	
19	570	454	499.29		19	570	293	130.9		19	130	405	360.91		19	90	416	359.04		19	250	345	115.94	
20	590	454	499.29		20	550	295	138.38		20	510	408	289.85		20	450	418	308.55		20	310	345	153.34	
21	210	455	439.45		21	530	300	147.73		21	530	412	291.72		21	70	420	372.13		21	330	350	162.69	
22	610	455	495.55		22	370	301	160.82		22	550	413	280.5		22	30	422	381.48		22	390	350	164.56	
23	190	457	439.45		23	390	303	168.3		23	570	415	273.02		23	50	422	379.61		23	350	351	166.43	
24	630	457	489.94		24	490	303	129.03		24	590	416	267.41		24	470	425	299.2		24	410	354	181.39	
25	170	458	437.58		25	510	303	140.25		25	610	417	261.8		25	490	429	289.85		25	450	354	175.78	
26	650	459	456.28		26	410	304	172.04		26	110	420	388.96		26	510	433	287.98		26	230	356	136.51	
27	150	460	428.23		27	430	304	158.95		27	630	421	263.67		27	530	437	284.24		27	430	357	187	
28	670	460	433.84		28	450	304	136.51		28	750	422	259.93		28	550	442	284.24		28	10	363	153.34	
29	130	463	428.23		29	470	304	129.03		29	10	423	392.7		29	570	445	284.24		29	190	366	179.52	
30	690	463	428.23		30	670	318	157.08		30	650	423	261.8		30	590	458	297.33		30	170	367	166.43	
31	110	465	431.97		31	690	319	158.95		31	730	423	261.8		31	610	462	297.33		31	150	369	166.43	
32	90	467	433.84		32	590	321	183.26		32	90	425	398.31		32	630	464	295.46		32	30	371	162.69	
33	710	467	428.23		33	710	321	162.69		33	670	425	263.67		33	650	466	295.46		33	210	371	185.13	
34	730	468	431.97		34	610	322	185.13		34	690	425	263.67		34	670	468	297.33		34	50	376	153.34	
35	70	471	435.71		35	630	322	173.91		35	710	425	263.67		35	690	469	301.07		35	130	379	166.43	
36	50	472	433.84		36	650	322	168.3		36	30	427	402.05		36	710	470	308.55		36	70	380	164.56	
37	30	475	439.45		37	730	323	162.69		37	50	427	402.05		37	730	471	317.9		37	110	381	177.65	
38	750	476	448.8		38	750	326	162.69		38	70	427	402.05		38	750	472	321.64		38	90	382	187	
39	10	479	450.67																					
Total	15090	17594	17602.31		Total	14440	10900	5869.93		Total	14440	15001	11137.72		Total	14440	15690	11281.71		Total	14440	13092	6333.69	
Mean	386.923	451.128	451.341		Mean	380	286.842	154.472		Mean	380	394.8	293.098		Mean	380	412.895	296.887		Mean	380	344.526	166.676	
Std Dev	220.654	40.288	77.239		Std Dev	219.317	27.975	17.655		Std Dev	219.317	29.27	50.766		Std Dev	219.317	40.396	41.148		Std Dev	219.317	25.399	17.886	
Std Err	35.333	6.451	12.368		Std Err	35.578	4.538	2.864		Std Err	35.578	4.748	8.235		Std Err	35.578	6.553	6.675		Std Err	35.578	4.12	2.901	
Max	750	479	506.77		Max	750	326	185.13		Max	750	427	402.05		Max	750	472	381.48		Max	750	382	205.7	
Min	750	479	506.77		Min	10	233	108.46		Min	10	350	243.1		Min	10	354	235.62		Min	10	285	115.94	
2-s Ran	882.614	161.153	308.954		2-s Ran	877.268	111.9	70.619		2-s Ran	877.268	117.1	203.063		2-s Ran	877.268	161.584	164.591		2-s Ran	877.268	101.595	71.544	
Features	39				Features	38				Features	38				Features	38				Features	38			

D-1 vazio				D-1 sempremento				D-7				E-1				F-1			
Features				Features				Features				Features				Features			
Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)	Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)	Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)	Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)	Number	X FCP	Y FCP	Length (µm)
1	590	280	31,79	1	710	317	127,16	1	470	334	102,85	1	750	280	54,23	1	10	309	437,92
2	570	284	39,27	2	570	322	132,77	2	450	335	108,46	2	730	284	54,23	2	30	310	437,92
3	610	291	57,97	3	590	322	132,77	3	410	339	125,29	3	710	287	56,1	3	50	314	441,83
4	190	297	31,79	4	730	323	140,25	4	430	339	119,68	4	550	292	29,92	4	70	315	422,28
5	550	298	59,84	5	690	325	140,25	5	390	341	129,03	5	570	293	37,4	5	90	318	434,01
6	630	299	48,62	6	750	325	145,86	6	490	341	114,07	6	530	294	33,66	6	110	324	457,47
7	650	299	56,1	7	810	326	142,12	7	510	347	125,29	7	590	295	44,88	7	150	326	465,29
8	170	302	29,92	8	390	329	140,25	8	370	348	142,12	8	610	296	50,49	8	170	326	457,47
9	430	302	52,36	9	410	329	140,25	9	530	351	134,64	9	690	296	72,93	9	130	327	469,2
10	710	303	59,84	10	370	330	145,86	10	130	352	143,99	10	510	298	41,14	10	190	334	484,84
11	330	307	41,14	11	630	330	149,6	11	150	352	147,73	11	490	299	43,01	11	210	341	504,39
12	230	308	48,62	12	650	330	149,6	12	170	353	149,6	12	630	300	78,54	12	230	346	508,3
13	210	310	59,84	13	670	330	149,6	13	190	354	151,47	13	670	300	80,41	13	250	347	477,02
14	730	310	78,54	14	350	331	149,6	14	550	354	155,21	14	470	301	46,75	14	270	348	406,64
15	310	313	63,58	15	550	331	145,86	15	350	356	136,51	15	650	301	82,28	15	290	348	394,91
16	670	316	97,24	16	290	332	151,47	16	210	357	149,6	16	450	302	48,62	16	310	353	422,28
17	690	317	93,5	17	310	332	151,47	17	330	358	125,29	17	430	305	54,23	17	690	355	398,82
18	150	319	50,49	18	330	332	151,47	18	570	358	177,65	18	410	311	52,36	18	670	356	414,46
19	530	319	87,89	19	270	333	143,99	19	590	359	187	19	390	314	57,97	19	410	357	441,83
20	410	320	86,02	20	250	335	138,38	20	610	359	187	20	370	316	48,62	20	430	357	441,83
21	390	322	84,15	21	430	335	149,6	21	630	359	188,87	21	350	318	46,75	21	650	357	434,01
22	350	323	80,41	22	230	336	138,38	22	650	359	190,74	22	290	321	57,97	22	330	358	453,56
23	370	323	82,28	23	210	339	143,99	23	670	359	192,61	23	310	321	56,1	23	450	358	445,74
24	750	323	130,9	24	190	341	145,86	24	690	360	200,09	24	330	321	54,23	24	630	358	453,56
25	290	324	91,63	25	10	342	158,95	25	750	360	216,92	25	250	324	59,84	25	710	358	406,64
26	450	324	84,15	26	30	342	155,21	26	110	361	155,21	26	250	327	57,97	26	350	359	457,47
27	270	325	95,37	27	50	342	153,34	27	230	361	136,51	27	230	329	54,23	27	470	360	453,56
28	70	326	95,37	28	530	342	162,69	28	250	362	121,55	28	210	336	59,84	28	370	361	457,47
29	250	328	95,37	29	170	343	149,6	29	310	362	125,29	29	190	341	61,71	29	490	361	461,38
30	130	333	102,85	30	450	343	164,56	30	710	362	209,44	30	170	343	46,75	30	510	361	457,47
31	510	333	115,94	31	70	344	155,21	31	730	362	228,14	31	150	351	61,71	31	530	361	457,47
32	90	334	95,37	32	90	344	153,34	32	270	363	117,81	32	110	354	46,75	32	550	361	453,56
33	110	334	102,85	33	110	344	153,34	33	290	364	121,55	33	130	354	54,23	33	570	361	457,47
34	10	336	112,2	34	130	344	153,34	34	90	368	158,95	34	30	356	43,01	34	590	361	477,02
35	30	336	114,07	35	150	344	153,34	35	70	373	151,47	35	70	357	44,88	35	610	361	473,11
36	50	337	112,2	36	470	347	172,04	36	50	378	140,25	36	90	357	50,49	36	390	362	461,38
37	470	339	112,2	37	510	347	172,04	37	10	385	142,12	37	10	358	46,75	37	730	363	426,19
38	490	339	123,42	38	490	348	173,91	38	30	385	142,12	38	50	358	46,75	38	750	371	430,1
Total	14440	12033	3005,09	Total	14440	12731	5677,32	Total	14440	13570	5752,12	Total	14440	12090	2017,73	Total	14440	13203	17035,87
Mean	380	316,658	79,081	Mean	380	335,026	149,403	Mean	380	357,105	151,372	Mean	380	318,158	53,098	Mean	380	347,447	448,312
Std Dev	219,317	15,538	27,733	Std Dev	219,32	8,209	10,348	Std Dev	219,317	11,605	31,56	Std Dev	219,317	24,347	11,371	Std Dev	219,317	17,533	25,628
Std Err	35,578	2,521	4,499	Std Err	35,578	1,332	1,679	Std Err	35,578	1,883	5,116	Std Err	35,578	3,95	1,845	Std Err	35,578	2,844	4,157
Max	750	339	130,9	Max	750	348	173,91	Max	750	385	228,14	Max	750	358	82,28	Max	750	371	508,3
Min	10	280	29,92	Min	10	317	127,16	Min	10	334	102,85	Min	10	280	29,92	Min	10	309	394,91
2-s Ran	877,268	62,153	110,932	2-s Ran	877,27	32,838	41,391	2-s Ran	877,268	46,42	126,16	2-s Ran	877,268	97,387	45,484	2-s Ran	877,268	70,132	102,513
Features	38			Features	38			Features	38			Features	38			Features	38		

DOAÇÃO
<i>IBIC-USP</i>
Data: <i>02/05/08</i>

