

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

ANÁLISE HIDROGEOLÓGICA DA REGIÃO SUDOESTE DO
RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS DE TÉCNICAS
DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO

VICTOR HUGO MENDES EILERS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre, Novembro de 1993

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. NELSON LUNA CAICEDO do IPH-UFRGS e co-orientada pelo Prof. NELSON AMORETI LISBOA do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia/ CEPSRM-UFRGS.

Esta pesquisa está inserida no projeto "Desenvolvimento de metodologias visando o uso e a ocupação do meio físico, utilizando técnicas de sensoriamento remoto", programa PADCT/FINEP, convênio FINEP/UFRGS nº 6591036400 código GIM 01/90-04 desenvolvido no CEPSRM-UFRGS e aplicado na região da fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS

- Aos professores Nelson Caicedo e Nelson Lisboa pela dedicação, orientação e amizade conferida durante a realização deste trabalho.

- Aos colegas, pelos momentos vividos no transcorrer do curso que tornaram-se a base de uma sólida amizade.

- Aos funcionários do CEPSRM e IPH, em especial a Lygia, pelo apoio, atenção e exemplo de dedicação.

- Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) e ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) que possibilitaram mais esta fase de crescimento pessoal.

- Ao CRH-LHMB do estado da Bahia pelo auxílio na fase final do trabalho.

- Ao CNPq pelo apoio financeiro.

- Aos meus familiares e amigos.

- A Carla, minha amiga, companheira e esposa pelo carinho, atenção e ajuda em todas as etapas.

RESUMO

O presente trabalho expõe uma metodologia para a análise hidrogeológica baseada em dados extraídos de produtos de sensoriamento remoto, dados de campo e sua interpretação utilizando-se a técnica de Sistemas Geográficos de Informação (SGI).

A área de estudo localiza-se na região sudoeste do Rio Grande do Sul, mais precisamente no município de Alegrete. O aquífero de estudo é o aquífero arenítico pertencente a Formação Botucatu sobreposto pelas extrusivas da Formação Serra Geral.

Foi desenvolvida uma análise morfoestrutural dos dados de superfície e estrutural dos dados de subsuperfície. Para a interpretação dos primeiros foram empregadas técnicas geomatemáticas de superfície de tendência, analisando-se os dados de distribuição superficial e orientação dos lineamentos.

Através do uso do SGI foi possível o estudo conjunto dos diferentes planos de informações (PIs) e inferir um modelo estrutural preliminar de interesse hidrogeológico para a área. Por fim, com os dados estruturais obtidos, simulou-se o uso da água subterrânea para cenários críticos através de um modelo de fluxo bi-dimensional estacionário.

ABSTRACT

This study presents a methodology for hydrogeological analysis based on data obtained from remote sensing products, field data and their interpretation, using GIS.

The area studied is located in the southwest region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The aquifer studied is a sandstone aquifer belonging to the Botucatu Formation, with superposal of extrusive rocks of the Serra Geral Formation.

Geomathematical techniques were utilized to interpret the morfostructural data. Spatial distribution and lineaments orientation were treated by trend surface analysis.

With GIS it proved possible to study jointly the different information plans and infer a preliminary structural model. Finally, using the structural data obtained, groundwater use was simulated for critical scenarios by means of a stationary two-dimensional flow model.

SUMÁRIO

	Página
1 - INTRODUÇÃO	01
1.1 - LOCALIZAÇÃO	02
1.2 - SINOPSE METODOLÓGICA	04
2 - OBJETIVOS	06
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
3.1 - GENERALIDADES	07
3.2 - ASPECTOS CLIMÁTICOS	07
3.3 - MORFOLOGIA	09
3.4 - ESTRATIGRAFIA	09
3.5 - CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	11
3.5.1 - Sistema aquífero Serra Geral	12
3.5.2 - Arenitos intertrápicos	13
3.5.3 - Aluviões	14
3.5.4 - Sistema aquífero Botucatu	14
3.6 - CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL	16
3.7 - ÁGUA SUBTERRÂNEA E SENSORIAMENTO REMOTO	18
4 - METODOLOGIAS, INFORMAÇÕES E RESULTADOS	19
4.1 - REDE DE DRENAGEM	19
4.2 - ANÁLISE DO RELEVO	25
4.3 - MODELO NUMÉRICO DO TERRENO	28
4.4 - ANÁLISE DOS LINEAMENTOS	31
4.4.1 - Lineamentos em imagem de radar	35
4.4.2 - Lineamentos em imagem Landsat MSS	39
4.4.3 - Análise dos lineamentos	45
4.5 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS ESTRUTURAIIS	48
4.5.1 - Superfície de Tendência	49
4.5.2 - Análise da distribuição espacial	52

4.5.3 - Análise da orientação dos lineamentos	61
4.5.4 - Relação distribuição e orientação	74
4.6 - ANÁLISE DOS DADOS DE SUBSUPERFÍCIE	75
4.6.1 - Topo do arenito Botucatu	79
4.6.2 - Espessura do basalto	84
4.6.3 - Artesianismo	87
4.7 - MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE FLUXO	90
4.7.1 - Generalidades	90
4.7.2 - Modelo do aquífero	98
4.7.3 - Simulação de cenários	105
5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	115
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
7 - ANEXOS	128

LISTA DE FIGURAS

			Página
Figura	1.1.1	Localização da área de pesquisa	03
Figura	3.6.1	Geologia regional	17
Figura	4.1.1	Rede de drenagem	21
Figura	4.1.2	Diagrama morfológico da região	24
Figura	4.2.1	Feição estrutural identificada no PROCOM-2	27
Figura	4.3.1	Modelo Numérico do Terreno	30
Figura	4.4.1	Lineamentos mapeados em mosaico de radar	37
Figura	4.4.2	Diagrama de rosetas para lineamentos mapeados em mosaico de radar	38
Figura	4.4.3	Lineamentos mapeados imagem MSS/ 7	41
Figura	4.4.4	Lineamentos mapeados MSS/composição color.	42
Figura	4.4.5	Diagrama de rosetas para lineamentos mapeados em imagem MSS/composição colorida	43
Figura	4.4.6	Diagrama de rosetas para lineamentos mapeados em imagem MSS/ 7	44
Figura	4.4.7	Mapa de lineamentos final	46
Figura	4.4.8	Diagrama de rosetas para todos lineamentos	47
Figura	4.5.1	Superfície de tendência de 1ª grau Distribuição espacial	57
Figura	4.5.2	Resíduos superfície de 1ª grau Distribuição espacial	58
Figura	4.5.3	Superfície de tendência de 4ª grau Distribuição espacial	59
Figura	4.5.4	Resíduos superfície de 4ª grau Distribuição espacial	60
Figura	4.5.5	Vetores resultantes médios	64
Figura	4.5.6	Isoazimutes resultantes médios	65
Figura	4.5.7	Isodesvios resultantes	66
Figura	4.5.8	Estruturas simuladas	68
Figura	4.5.9	Superfície de tendência de 1ª grau Orientação dos lineamentos	70

Figura 4.5.10	Superfície de tendência de 2ª grau	
	Orientação dos lineamentos	71
Figura 4.5.11	Superfície de tendência de 3ª grau	
	Orientação dos lineamentos	72
Figura 4.5.12	Resíduos superfície de 3ª grau	
	Orientação dos lineamentos	73
Figura 4.6.1	Localização dos poços	78
Figura 4.6.2	Topo do arenito Botucatu	81
Figura 4.6.3	Topo do arenito - blocodiagrama	82
Figura 4.6.4	Topo do arenito - perfis	83
Figura 4.6.5	Espessura do basalto	86
Figura 4.6.6	Artesianismo	89
Figura 4.7.1	Dimensões do bloco	95
Figura 4.7.2	Condições de contorno	99
Figura 4.7.3	Níveis piezométricos	100
Figura 4.7.4	Base do aquífero - blocodiagrama	102
Figura 4.7.5	Base do aquífero - isolinhas	103
Figura 4.7.6	Espessura do aquífero	104
Figura 4.7.7	Níveis piezométricos - modelo matemático	109
Figura 4.7.8	Cenário 1	110
Figura 4.7.9	Cenário 2	111
Figura 4.7.10	Cenário 3	112
Figura 4.7.10	Cenário 4	113
Figura 4.7.10	Cenário 5	114

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 4.1.1	Classificação da rede de drenagem	22
Tabela 4.5.1	Parâmetros estatísticos das superfícies de tendência para distribuição espacial dos lineamentos	54
Tabela 4.5.2	Parâmetros estatísticos das superfícies de tendência para análise de orientação dos lineamentos	68
Tabela A.1	Dados dos poços locados na região	128

1. INTRODUÇÃO

O grau de desenvolvimento de uma região está diretamente relacionado ao uso racional dos recursos hídricos disponíveis. O estudo da disponibilidade desses recursos, para um aproveitamento economicamente viável, torna-se cada vez mais indispensável, a medida que o crescimento populacional e de seus núcleos impulsionam o consumo da água para múltiplos fins.

Atualmente a degradação através da poluição dos recursos hídricos superficiais e a necessidade de volumes de água nem sempre disponíveis, principalmente em períodos de estiagens, faz com que o estudo e a procura de fontes alternativas de abastecimento recebam especial atenção.

Os recursos hídricos subterrâneos são, sem dúvida, uma fonte atraente. A maior proteção contra os agentes poluidores, sua maior regularidade, a possibilidade de se dispor de água próximo ao ponto desejado, a dispensa de caras estações de tratamento e a não ocupação de espaços na superfície, como ocorre na construção de açudes, privando o uso de terras produtivas, são alguns dos atrativos que fazem hoje as águas subterrâneas serem uma alternativa de abastecimento para várias regiões do mundo.

Porém a sua utilização está limitada a ocorrência de bons aquíferos e a condições favoráveis de exploração. O estudo destes recursos devem ser vistos similarmente à pesquisa de qualquer outro bem mineral, já que o conhecimento das características hidrogeológicas de uma região diminuem a margem de risco dos investimentos necessários a exploração e a extração por meio de poços.

O Rio Grande do Sul, de um modo geral, não possui bons aquíferos diretamente acessíveis, com exceção da região sudoeste. Nesta região encontra-se o melhor aquífero do Estado que é a Formação Botucatu, sotoposto às litologias efusivas da Formação Serra Geral, com boas vazões e boa qualidade de água. Este aquífero apresenta grandes potencialidades, principalmente quando confinado, mas como geralmente os poços são profundos a perfuração é uma obra de engenharia, ou seja, requer técnicas para bem perfurar e projetar o poço. Os fatores de risco, entretanto, podem ser minimizados a medida que se aumentarem os conhecimentos hidrogeológicos sobre a região.

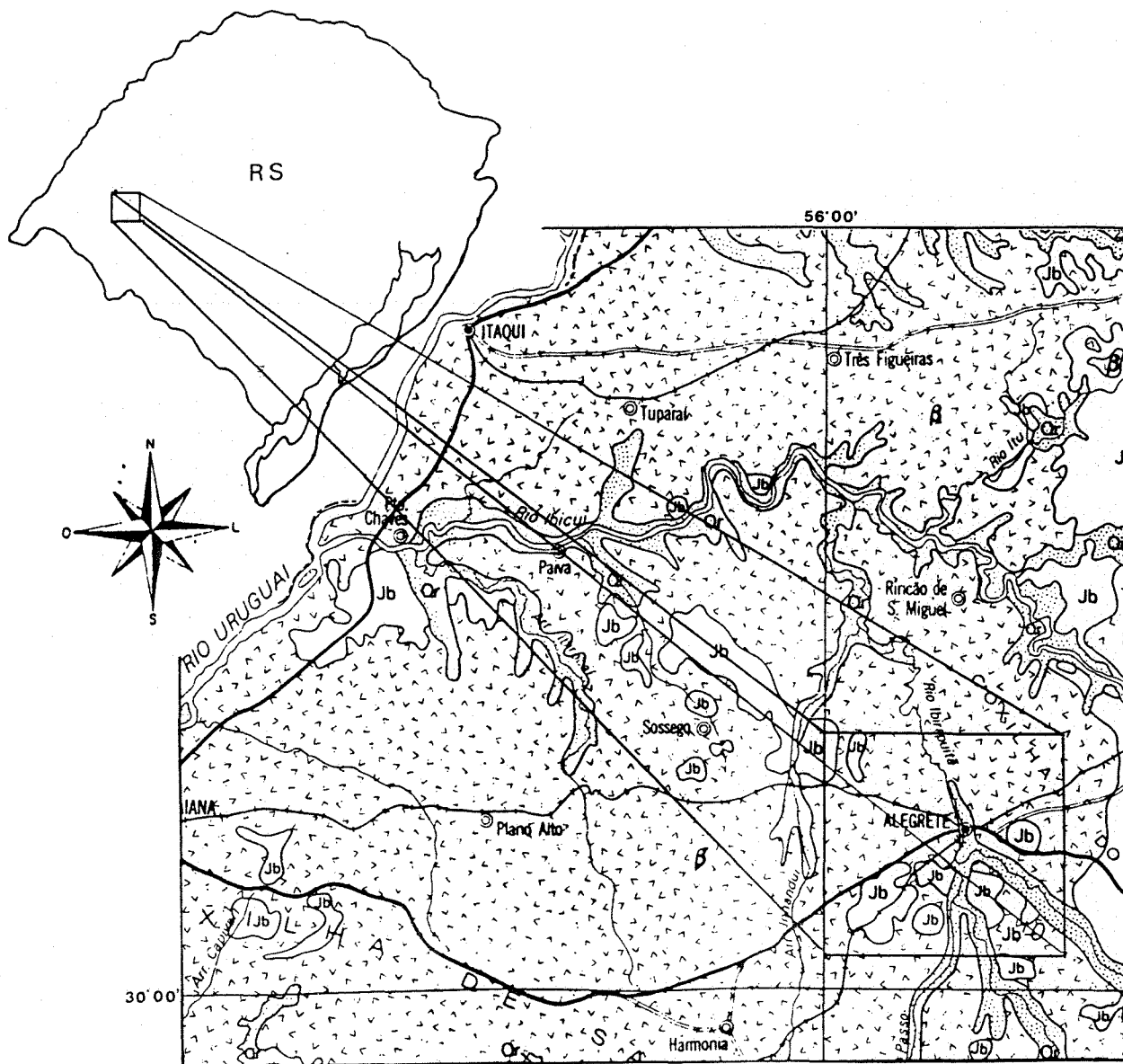
1.1 LOCALIZAÇÃO

A área estudada situa-se na parte sudoeste do Rio Grande do Sul entre as latitudes Sul 29°40' e 29°57' e longitude Oeste 55°40' e 56°00' (figura 1.1.1). Está inserida no município de Alegrete e abrange aproximadamente 1.000 km². O município de Alegrete possui uma população absoluta de 78.740 habitantes (Guia dos municípios, 1993).

Economicamente a região destaca-se com importante parcela na produção agropecuária do Estado, principalmente com a criação de bovinos e ovinos assim como a produção de arroz e soja.

Litologicamente a área encontra-se coberta por efusivas da Formação Serra Geral, os arenitos da formação Botucatu aflorantes, arenitos intertrápicos e depósitos atuais que aparecem na superfície. A topografia é formada de colinas com altitudes inferiores a 200 m.

A escolha da área foi determinada por estar o presente trabalho inserido dentro do projeto PADCT/FINEP, pelo arenito Botucatu apresentar grandes potencialidades como aquífero e existir a viabilidade econômica da exploração do mesmo, e pela disponibilidade de dados de poços perfurados na região.



Escala: 1/1.000.000

Legenda: Jb: Arenito Botucatu β: Formação Serra Geral
 QR: depósitos aluviais

Figura 1.1.1 - Localização e geologia da área

1.2 SINOPSE METODOLÓGICA

A metodologia utilizada baseou-se em duas etapas principais: a análise dos dados superficiais com o uso de produtos de sensoriamento remoto e a análise de informações de subsuperfície através dos dados provenientes de poços perfurados na região.

Primeiramente foi realizada a caracterização sob o ponto de vista geológico e hidrogeológico da área através da revisão bibliográfica. Foram enfocados os aspectos litológicos, estratigráficos e estruturais, dando-se ênfase aos sistemas aquíferos envolvidos, principalmente ao aquífero de interesse da região: o aquífero Botucatu. Inclue-se nesta etapa o levantamento de dados hidrogeológicos existentes nas fichas cadastrais de poços tubulares perfurados na área por diversos órgãos públicos.

O estudo da rede de drenagem, morfologia e dados estruturais (lineamentos) foi realizado com a utilização de imagens orbitais e de radar. Para a análise dos dados estruturais foram empregadas técnicas geomatemáticas de análises estatísticas tridimensionais de tendência que objetivaram a delimitação de zonas com semelhantes padrões estruturais e com características próprias do ponto de vista tectônico. Foram analisados os dados da distribuição espacial e da orientação dos lineamentos extraídos dos produtos de sensoriamento remoto.

Posteriormente, utilizando as informações provenientes dos poços, foi estudado o comportamento estrutural dos pacotes litológicos. Foram gerados, com técnicas de geoprocessamento, superfícies com os aspectos estruturais e hidrogeológicos do

aqüífero, procurando assim obter uma interpretação de interesse para a exploração de águas subterrâneas.

Para a integração dos dados nas diversas etapas descritas acima foi utilizado o Sistema Geográfico de Informações - SGI que permite sobrepor e manipular matematicamente os dados correlacionados geograficamente.

Finalmente, com as informações estruturais obtidas nas análises anteriores, foi possível estabelecer um modelo matemático numérico de fluxo bidimensional, simulando quadros de utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

2. OBJETIVOS

A presente pesquisa procura salientar, através da análise das feições morfoestruturais superficiais e estruturais subsuperficiais, a relação desses elementos com a distribuição das águas subterrâneas na região em questão.

Procura também verificar a existência de um comportamento estrutural diferencial na área que caracterize um zoneamento com parâmetros hidrogeológicos característicos.

Espera-se que as informações obtidas e as técnicas empregadas possam contribuir no avanço da pesquisa hidrogeológica regional e fornecer subsídios para a prospecção e para o uso racional das águas subterrâneas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GENERALIDADES

A área estudada está contida nos limites Sul da Bacia Geológica do Paraná. A Bacia do Paraná se caracteriza por ser uma grande bacia intracratônica, simétrica que engloba toda a área drenada pelos rios Paraná e Uruguai e abrange uma área de aproximadamente 1.600.000 km², distribuídos pelos territórios de quatro países, sendo 1.000.000 Km² em território brasileiro (REBOUÇAS, 1980).

A Bacia do Paraná se caracterizou como unidade autônoma de sedimentação a partir do Devoniano. O último evento de caráter regional foi o extravazamento de grandes volumes de lavas, provavelmente ligados as atividades diastróficas de natureza tensional e a separação continental. A área coberta pelas litologias efusivas cobrem no Brasil aproximadamente 600.000 km² e no Rio Grande do Sul 138.000 km².

As deformações estruturais existentes são atribuídas ou a movimentos verticais de grande amplitude ou a falhas de gravidade localizadas ou, ainda, a reativação das linhas de fraqueza do embasamento.

3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS

A área em estudo, segundo a classificação de Köppen, está inserida numa região de clima do tipo Cfa, ou seja, clima

subtropical ou virginiano, com temperaturas nos meses mais frios entre 3°C e 18°C com média nos meses mais quentes superior a 22°C. O regime de chuvas é constante com precipitações presentes em todos os meses do ano, não existindo grandes diferenças quantitativas entre o mês mais e menos chuvoso, sendo comum a existência de chuvas torrenciais nos meses de verão (MORENO, 1961). A precipitação média anual está entre 1300 a 1500 mm. A temperatura média da região varia em torno de 18,5°C sendo a máxima média de 23°C e a mínima média anual 12°C.

3.3 MORFOLOGIA

HAUSMANN (1962) divide as áreas ocupadas pelo derrame basáltico, no Rio Grande do Sul, em três áreas de aspectos morfológicos bem diferenciados, as quais se refletem sobre as possibilidades de captação do freático. São elas: Planalto, Borda do Planalto e Cuesta. De acordo com esta divisão a área de pesquisa pertence a sub-unidade da "Cuesta" Basáltica e encontra-se em uma zona de transição entre as unidades compostas por sedimentos gonduânicos e por lavas basálticas.

A "cuesta" basáltica forma a porção mais meridional do derrame no Rio Grande do Sul, cujo reverso mergulha em direção ao Rio Uruguai constituindo a região menos movimentada e a de menor espessura das áreas basálticas (HAUSMANN, 1962).

A drenagem conseqüente é a mais numerosa e de maior volume, realizando o decapeamento da cobertura basáltica da "cuesta". Junto as drenagens de maior porte, como os rios Capivari, Ibirapuitã e Arroio do Caverá, formam-se extensas áreas de

aluviões onde são frequentes zonas de banhados. Estes canais de drenagens dirigem-se preferencialmente para Oeste, desenvolvendo vales pouco encaixados, geralmente amplos, com uma topografia lembrando um estágio maduro de erosão.

O relevo é de colinas com cotas inferiores a 200 m, sendo resultado de processos erosivos que atuaram sobre a região, associados a fenômenos tectônicos brandos. Apresenta-se assimétrico com uma escarpa voltada para Este. O reverso é constituído por uma superfície suavemente inclinada em direção a Oeste.

A vegetação dominante na região é de gramíneas determinando um caráter típico de campos.

3.4 ESTRATIGRAFIA

Segundo REBOUÇAS (1980) os sedimentos acumulados na bacia sedimentar do Paraná alcançam um máximo de 7.825 m de espessura total. São rochas de natureza litológica predominantemente clástica que datam desde o Siluriano até o Cretáceo Superior (NORTHFLEET et al, 1969).

Na região estudada a coluna estratigráfica tem na sua parte superior as rochas mesozóicas da Formação Serra Geral. Ela abrange quase a metade do Rio Grande do Sul com cerca de 138.000 km² (HAUSMANN, 1966). Caracteriza-se por extrusões de lavas vulcânicas toleíticas que se deram através de derrames fissurais sucessivos, gerados por fenômenos diastróficos de grande envergadura durante o período Neo-Mesozóico.

Em geral um derrame caracteriza-se por apresentar no topo um horizonte vesicular a amigdalóide, com disjunção preferencialmente horizontal e uma textura bastante fina em relação a porção central. Esta última, formada por um basalto maciço, com textura mais grossa, onde a disjunção tende a ser vertical. Às vezes ocorre um horizonte vítreo na base. Tal tipo de perfil pode ocorrer apenas em parte, principalmente quando os derrames são de menor espessura.

De acordo com HAUSMANN (1987) a superfície sobre a qual ocorreram os derrames apresentava-se bastante irregular, produzida tanto pela erosão, pela própria sedimentação, bem como por movimentação tectônica, determinando as variações atuais da espessura local do basalto e o afloramento de janelas de arenito em distâncias bastante curtas.

Esta superfície é formada por arenitos de origem eólica e classificados como Formação Botucatu, pertencente ao Grupo São Bento. Este engloba as formações que vão desde o Triássico até o Cretáceo. A Formação Botucatu apresenta fácies eólica em ambiente desértico, possui granulometria entre média e fina, estratificação cruzada em cunha e possui uma discordância erosiva com os basaltos sobrepostos.

Devido ao clima árido ser ainda predominante à época dos primeiros derrames, ocorreram formações de lentes de arenito intercaladas aos basaltos chamados de arenitos intertrápicos. Tais intertraps são normalmente silificados e possuem dimensões muito variáveis, sendo que, na região, podem atingir espessuras superiores a 30 m com distribuição horizontal significativa (SUDESUL, 1970).

A Formação Botucatu assenta concordantemente sobre a Formação Rosário do Sul. De idade Triássica, esta formação

constitue a porção basal do Grupo São Bento e é formada pelo Membro Rio Pardo, de fácies deposicional fluvial, constituído litologicamente por siltitos argilosos e arenitos fino siltíticos e pelo Membro Santa Maria, de fácies lacustre, onde podem ser observados horizontes de argila, siltitos argilosos e concreções calcáreas.

Os depósitos atuais e sub-atuais constituem-se de aluviões areno-argilosos de cores claras e com boa quantidade de cascalhos.

3.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Segundo McWHORTER e SUNADA (1985) um estrato geológico que exibe porosidade e condutividade hidráulica suficiente para armazenar e transmitir água em quantidades significantes é chamado de aquífero. Por outro lado, materiais que tem suficiente porosidade para armazenar água mas uma capacidade insignificante para transmití-la, chamamos de aquíclude.

A região da fronteira sudoeste, em consequência da geologia que apresenta, possui duas unidades hidrogeológicas principais.

Em superfície ocorre o aquífero Serra Geral, fraturado, que apresenta possibilidades de fornecimento de água relativamente baixas. Sotopostos a este encontra-se o aquífero formado pelo arenito Botucatu que apresenta grandes potencialidades em termos de água subterrânea, sendo o aquífero de interesse local. WREGE (1984) salienta que como o aquífero Botucatu encontra-se confinado, pode-se esperar geralmente um recalque em torno de uma a duas centenas de metros.

3.5.1 Sistema aquífero Serra Geral

Os basaltos da Formação Serra Geral como aquíferos não podem ser considerados dos melhores, pois sua possibilidade de fornecimento de água é baixa (HAUSMANN, 1962). Tais rochas apresentam sua permeabilidade condicionada a combinação de estruturas primárias e secundárias. As primeiras, de natureza adiastrófica são geradas quando do resfriamento do material ígneo e sua conseqüente contração e ruptura. As segundas são pela ação dos esforços tectônicos atuantes após a consolidação do corpo rochoso. Quando este tectonismo não vem acompanhado de mineralização secundária, formam-se boas zonas para o aproveitamento da água, com ampla circulação entre as juntas. Mas na maioria dos casos o preenchimento dos planos de falha por mineralização ou injeções de dique torna difícil a circulação e por vezes impossível.

Segundo HAUSMANN (1987) os basaltos comportam-se como um material impermeável no qual a circulação se verifica por entre as juntas não tomadas pelas injeções acima referidas. Portanto os fenômenos tectônicos que atingiram os derrames assumem papel de primeira grandeza no condicionamento da circulação e do armazenamento.

A possibilidade de captação das águas no basalto torna-se um problema em grande parte estrutural. Porém há possibilidades de se obter água atravessando os basaltos de forma a captá-las nos arenitos subjacentes onde esse se encontra sobre pressão. A viabilidade técnica e econômica de alcançar este aquífero está intimamente ligada às condições estruturais. A província hidrogeológica da Cuesta é a que possibilita a exploração do manancial subterrâneo desta maneira, devido a menor espessura dos basaltos.

Poços perfurados na área, na formação Serra Geral, e que se aproximam do aquífero Botucatu, indicam que a recarga do aquífero Serra Geral processa-se principalmente pela infiltração vertical ascendente a partir do aquífero arenítico sotoposto. Estas recargas devem-se às condições estruturais da região que apresenta-se mergulhante para oeste, confinando as águas do aquífero Botucatu (PRESOTTO et al, 1973).

3.5.2 Água subterrânea nos arenitos intertrápicos

Os arenitos intertrápicos, em alguns locais, podem atingir algumas dezenas de metros de espessura podendo tornar-se uma alternativa atraente. Porém as vazões nestes horizontes estão na ordem de uma dezena de metros cúbicos devido, principalmente, ao alto grau de silificação que estes arenitos apresentam. Outro fator limitante é a descontinuidade dos mesmos, formando lentes praticamente isoladas e trapeadas pelos derrames de lava. Em termos hidrogeológicos integram-se ao sistema aquífero Serra Geral (PRESOTTO et al, 1973).

3.5.3 Água subterrânea nos aluviões

A espessura dos aluviões é muito variável, podendo atingir até 12 m, a espessura média é de 5 m e as larguras oscilam em torno dos 300 m. Os aluviões funcionam mais como transmissores de água para a rocha sotoposta do que como armazenadores. Entretanto nas áreas onde estão mais desenvolvidos, como nos rios Ibicuí e Ibirapuitã, os aluviões podem fornecer quantidades razoáveis de água, explorada facilmente através de

escavações e poços manuais (PRESOTTO, 1973).

3.5.4 Sistema aquífero Botucatu

É o melhor aquífero do Rio Grande do Sul e objetivo principal da presente pesquisa. Segundo REBOUÇAS (1980) ele representa cerca de 80% do potencial hidrogeológico da Bacia Geológica do Paraná. ECKERT e GUGLIOTTA (1990) observaram que poços perfurados na fronteira oeste do Estado, principalmente destinados a irrigação de grandes lavouras de arroz, atingem vazões que chegam a superar 0,139 m³/s (500.000 l/h).

A circulação nos arenitos é distinta da circulação nos basaltos sobrepostos. Nestes as condições de circulação são do mesmo tipo observado em outras áreas basálticas onde eles se comportam como um aquífero fraturado descontínuo. Já nos arenitos temos o caso clássico de um aquífero dedrítico onde a água ocorre nos poros intersticiais. HAUSMANN (1987) adverte que devido a processos de silificação por hidrotermalismo, o qual é bastante irregular na forma como preenche os poros e litifica os arenitos, pode ocorrer a circulação através de juntas ou fraturas.

Segundo PRESOTTO (1973) a recarga do aquífero Botucatu ocorre através dos seguintes processos preferenciais :

- A infiltração pluvial direta é a mais importante. As condições geológicas favoráveis para isso existem quando o arenito encontra-se aflorante, há o predomínio de uma topografia plana ou suavemente ondulada e a drenagem é bem desenvolvida. No geral, estas condições são encontradas na região de domínios dos afloramentos da Formação Botucatu, a

Leste da área mapeada.

- A contribuição dos aquíferos superiores pode ocorrer no caso de condições geológicas favoráveis.

GREHS e SZUBERT (1971), em poços perfurados na região, estabeleceram correlações entre o comportamento da água subterrânea e as lineações tectônicas que afetaram as diversas litologias. Poços tubulares, locados sobre as lineações apresentaram capacidades específicas dez vezes superiores em relação a poços com o mesmo perfil geológico e profundidades idênticas, cuja distância de fraturas ou juntas era maior. Na construção de três poços testes completamente penetrantes no aquífero Botucatu, os autores observaram a presença de estruturas falhadas e constataram que há uma influência marcante da tectônica no comportamento do arenito assim como das rochas basálticas e intertraps.

Os coeficientes hidrodinâmicos foram determinados por meio de testes de bombeamento nestes poços e calculados a partir da fórmula de não equilíbrio modificada de Jacob. Os valores médios obtidos foram os seguintes (GREHS, 1971):

Transmissividade : $4,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Armazenamento : $3,3 \cdot 10^{-4}$

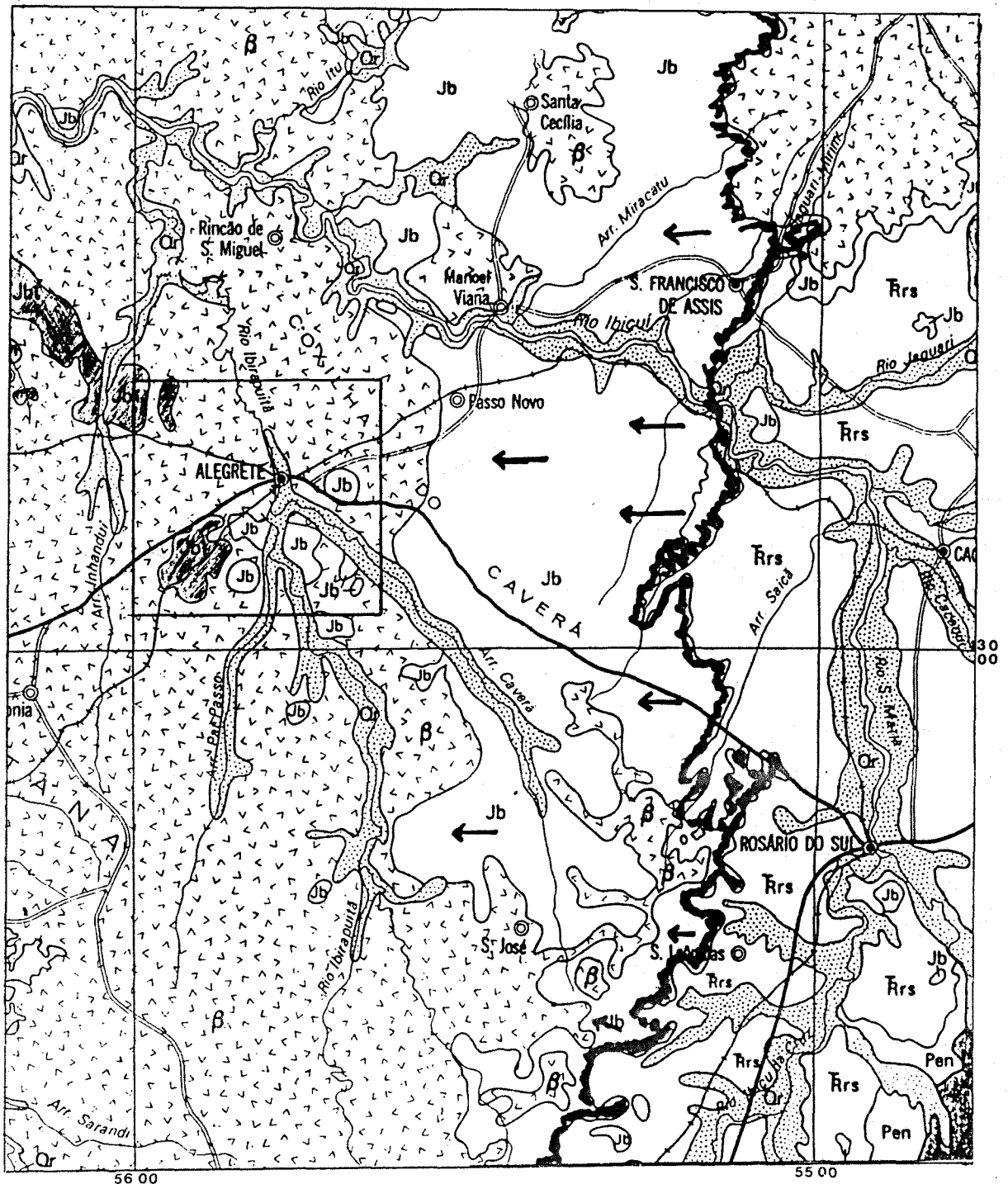
Condutividade hidráulica : $4,8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

3.6 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

A figura 3.6.1 representa um esboço da geologia regional da área pesquisada. Observa-se a área aflorante do aquífero Botucatu em sua superfície livre (Jb) a leste-nordeste, o pacote superior confinante, Formação Serra Geral (β), os arenitos intertrápicos (Jbi), depósitos aluviais recentes (Qr) e o pacote aquícluído aflorante, Formação Rosário do Sul (TRrs).

Esta situação geológica determina a área de recarga do aquífero Botucatu confinado, objeto de pesquisa na área assinalada na figura, observando-se o fluxo regional de leste para oeste e de nordeste para sudoeste sugerido pelo mergulho regional da Bacia do Paraná na área.

O contexto regional acima descrito sofre modificações devido a interferências de perturbações tectônicas dos pacotes, principalmente por falhamentos. A circulação tanto da água superficial como subsuperficial na área é afetado por aspectos estruturais que perturbam a estratigrafia predominante.



Escala: 1/850.000

Legenda:

Jbi: arenitos intertrápicos
 β : Formação Serra Geral

Jb : Formação Botucatu
 Trrs: Formação Rosário do Sul

← : fluxo regional

Figura 3.6.1 - Geologia regional

Fonte: Carraro et al. (1974)

3.7 ÁGUA SUBTERRÂNEA E SENSORIAMENTO REMOTO

Os comprimentos de ondas da radiação eletromagnética comumente usadas no sensoriamento remoto são, tanto ou emitidas ou refletidas da superfície, como de uma estreita camada (menos de 1 m) da terra. Por este motivo, aquíferos profundos não podem ser detectados diretamente. Porém, técnicas de sensoriamento remoto oferecem ao hidrogeólogo uma poderosa ferramenta para auxiliar os métodos geofísicos padrões. A interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite permite inferir características hidrogeológicas importantes. Imagens de satélite, em particular, permitem análises de extensas áreas e conseguem uma perspectiva impossível de se conseguir através de pesquisas de terra (ENGMAN, 1991).

Informações de interesse para a pesquisa de águas subterrâneas podem ser deduzidas de padrões de drenagem, características da morfologia, da vegetação, do uso da terra, de padrões lineares e curvilíneos e de aspectos tonais e de textura. ANDERSSON et al (1992) observa que a maneira tradicional de coleta destas informações tem sido através de trabalhos de campo e de análises de mapas temáticos. Como freqüentemente as pesquisas em hidrogeologia envolvem grandes áreas, o tempo e o custo dispendido podem ser apreciáveis. Além disso, características de grande interesse como padrões regionais de fraturas e falhas são difíceis de se detectar no terreno. Os autores concluem que o uso de imagens de satélite oferece muitas vantagens comparados aos métodos tradicionais. ENGMAN (1991), porém, enfatiza que o sensoriamento remoto deve ser tratado como uma fonte adicional de informação, não substituindo as técnicas tradicionais e sim complementando-as.

4. METODOLOGIAS, INFORMAÇÕES E RESULTADOS

4.1 REDE DE DRENAGEM

A análise da rede de drenagem regional foi realizada com o objetivo principal de se caracterizar padrões morfoestruturais. Para tanto procurou-se estabelecer o padrão regional e detectar suas variações ou anomalias.

O traçado da rede de drenagem resultou da análise visual de imagens do satélite Landsat 4, escala 1:500.000, sensores MSS banda 5 (0,6-0,7 μm), faixa do visível, de 21 de setembro de 1983, elevação solar 51° e azimute solar 86°, MSS banda 7 (0,8-1,1 μm), faixa do infravermelho próximo, de 15 de setembro de 1978, elevação solar 23°, azimute 42°, e da composição colorida MSS bandas 4,5 e 7, de 18 de janeiro de 1977, elevação solar 18° e azimute solar 51°. Estes produtos mostraram-se os mais eficientes para esta finalidade.

Por possuir uma baixa reflectância na faixa do infravermelho, especialmente no infravermelho próximo, do espectro eletromagnético, a água pode ser mais facilmente identificada em bandas que estejam na região entre 0,7 a 3,0 μm . Segundo ENGMAN (1991) a escolha do Landsat MSS banda 7 é de grande importância para trabalhos cuja finalidade é a identificação de corpos de água. No presente trabalho a imagem de composição colorida foi a mais eficiente por discriminar melhor as características multiespectrais.

O traçado foi realizado sobre papel overlay com penas 0,2 mm. Posteriormente foi digitalizado via mesa digitalizadora,

utilizando-se o Sistema Geográfico de Informações (SGI) disponível no CEPSSRM-UFRGS. Desde modo os dados de drenagem passaram a constituir um "plano de informação" (PI) de caráter vetorial.

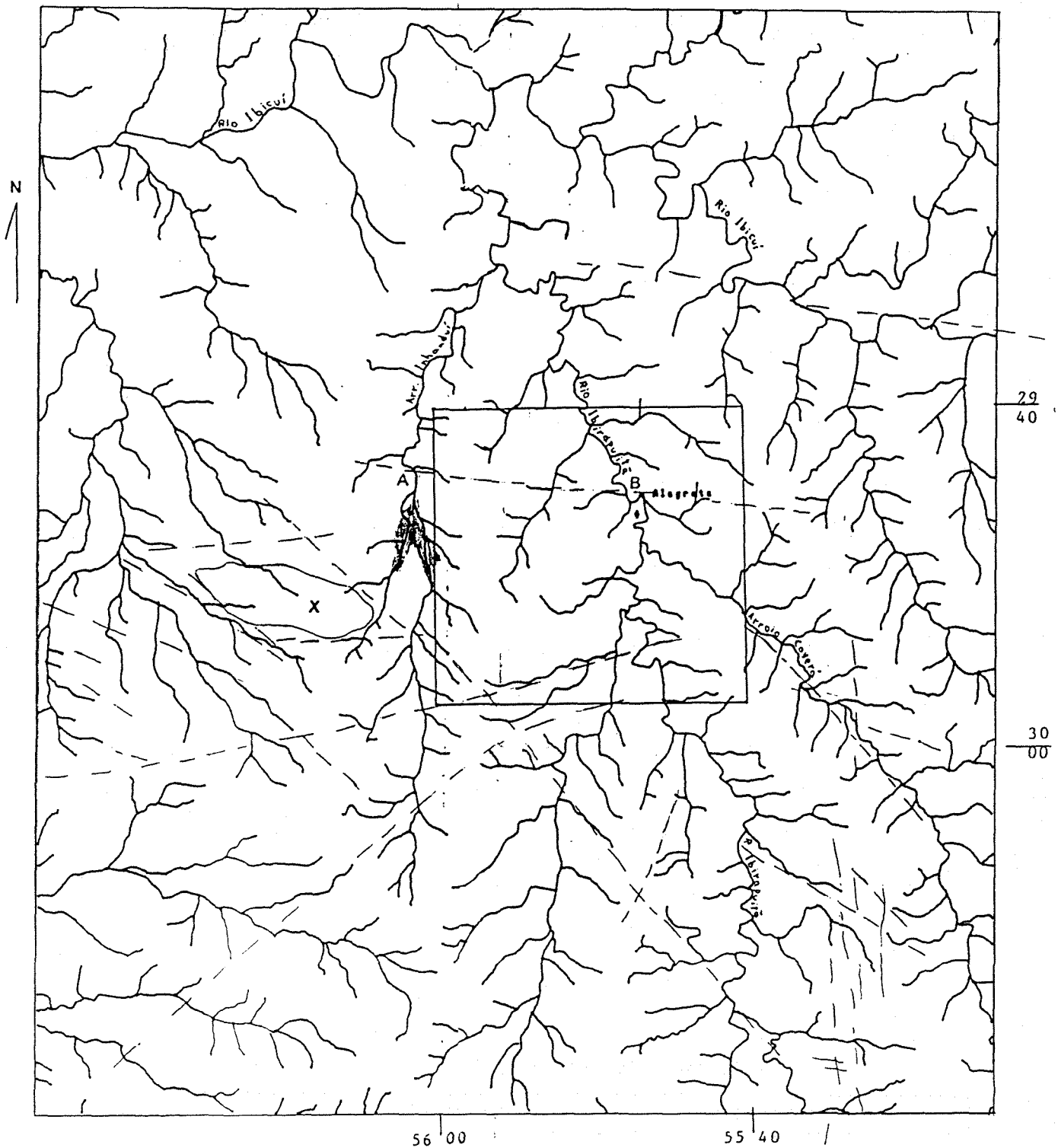
A figura 4.1.1 representa o traçado da rede de drenagem sobre a Formação Serra Geral em torno da área de pesquisa e corresponde a uma saída via "plotter" do SGI. Na figura também aparecem os lineamentos de médio porte (entre 10 e 100 km segundo GOLD, 1980) extraídos das bandas MSS 7, MSS 5 e composição colorida.

A análise da rede de drenagem regional baseia-se em DESFONTAINES e CHOROWICZ (1991) os quais classificam a rede de drenagem sob o ponto de vista genético. Os autores propõem uma classificação de padrões de drenagem levando em consideração as relações entre diferentes padrões de rede e suas evoluções. A relação mais comum é aquela entre redes que normalmente se sucedem no mesmo local através do tempo.

A tabela 4.1.1 resume a classificação genética de redes de drenagem baseada no estágio de desenvolvimento das mesmas.

Uma rede inicial se caracteriza quando a drenagem ocorre ao longo de canais primários, tão logo o escoamento se estabeleça sobre uma superfície. As condições ideais para o estabelecimento de uma rede inicial podem ser encontradas em uma superfície plana horizontal com litologia homogênea.

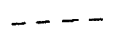
Entende-se por litologia homogênea uma formação geológica que compreenda uma litologia simples com uma formação dominante ou com rápidas e regulares alterações. Por outro lado, um substrato heterogêneo compreende grandes variações na litologia ou importantes descontinuidades.



Legenda:



Drenagem



Lineamentos

Figura 4.1.1 - Rede de drenagem

predomina a Formação Serra Geral, junto com a figura 4.1.2, na qual se observa o padrão de drenagem regional do tipo paralelo colinear e o escoamento dos principais canais superficiais no sentido noroeste acompanhando a inclinação regional do substrato, e baseando-se na tabela 4.1.1 com a classificação adotada.

As anomalias do padrão de drenagem regional podem entretanto afetar toda a rede e são definidas em termos de seus efeitos. De acordo com HOWARD (1967), anomalias de drenagem são variações locais da drenagem regional que por outro lado concorda com a estrutura regional e/ou topográfica conhecida. O padrão geral é considerado como normal e os desvios são anomalias. DESFONTAINES e CHORÓWICZ (1991) utilizam o termo perturbação em lugar de anomalia e consideram toda a rede como normal, mas as características morfológicas aos quais elas pertencem podem ser perturbadas por padrões locais ou regionais que afetam a bacia de drenagem inteira ou um curso de um rio.

As perturbações da rede de drenagem mais significativas e de interesse para a pesquisa na área e verificadas na figura 4.1.1 aparecem em A e B. Em A ocorre alargamento anômalo do vale do arroio Inhanduí e em B observa-se uma perturbação do padrão paralelo regional para um retilíneo. Elas confirmam a presença de um lineamento de médio porte que corta a área na direção N80W e assinalado na figura 4.1.1. Este lineamento foi detectado em uma imagem Landsat MSS banda 5 e aparece com uma nítida diferença tonal, sendo provavelmente consequência de uma diferenciação do tipo de material de superfície.

De um modo geral as perturbações do padrão de drenagem regional do tipo colinear paralelo retratado, principalmente nos canais de segunda e terceira ordem, são importantes na caracterização dos lineamentos de médio porte mapeados.

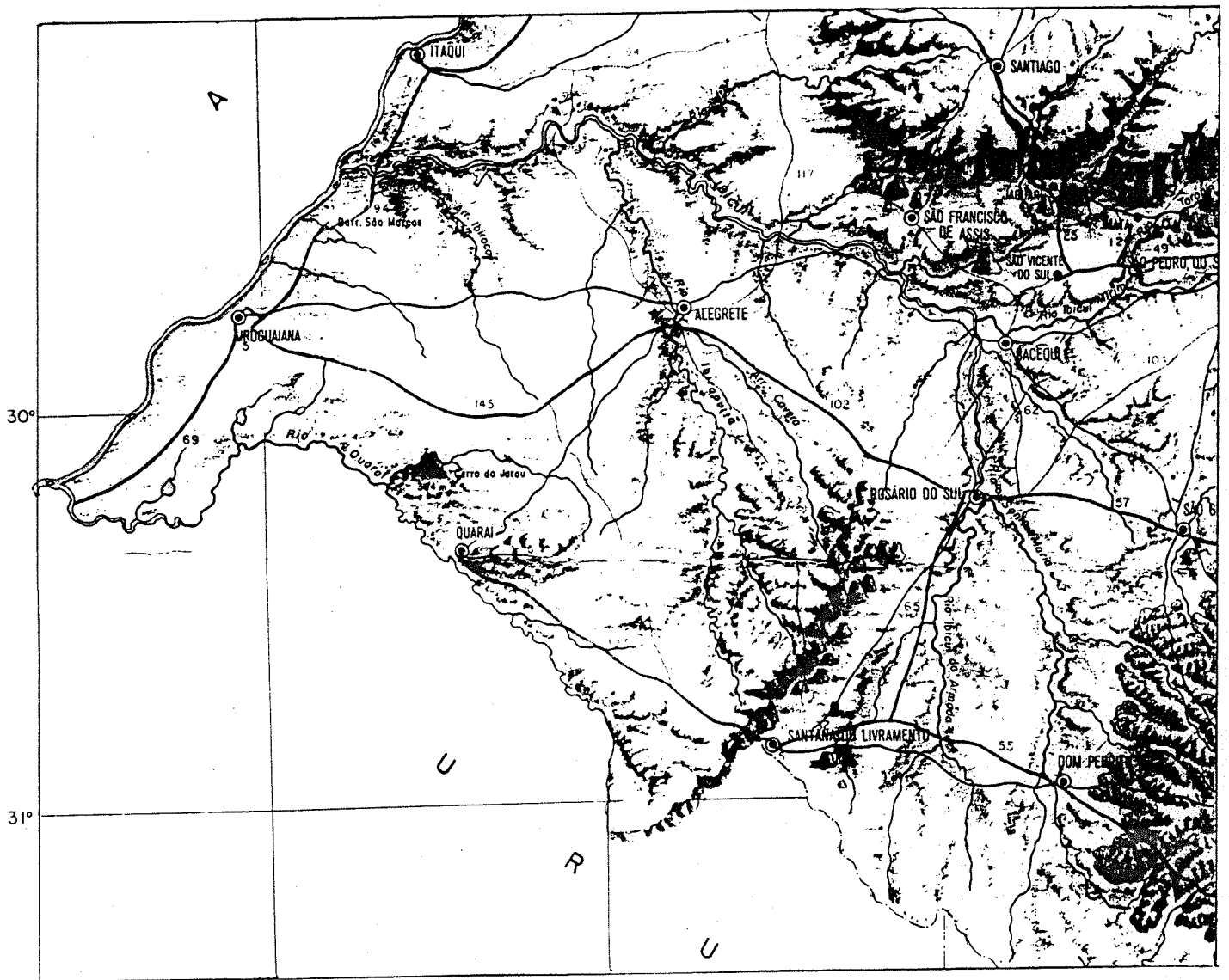


Figura 4.1.2 - Diagrama morfológico

Fonte : Diagrama morfológico do RS

4.2 ANÁLISE DO RELEVO

A análise do relevo utilizando produtos de imagens orbitais foi realizado visando identificar estruturas que possuíssem interesse do ponto de vista hidrogeológico, tais como morfoestruturas anelares do tipo bacia ou domos que influenciam o fluxo de água subterrânea, bem como de estruturas falhadas com movimento e basculamento de blocos. A principal feição está identificada na figura 4.1.1 do item anterior como X e está detalhada na figura 4.2.1, que embora fora da área de pesquisa é apresentada devido a sua importância estrutural.

A figura 4.2.1 apresenta uma feição estrutural do tipo bacia localizada a Oeste da área de pesquisa. A feição aparece associada aos lineamentos de médio porte e é uma morfoestrutura anelar identificada principalmente pela análise do relevo no sistema PROCOM-2 disponível no CEPSRM. Este sistema utiliza o diapositivo das imagens de satélite e permite através de um ajuste de lentes variar-se a escala da mesma particularizando-se a área de interesse, onde se pode visualizar os "dip slopes" e "back slopes" que caracterizam a bacia estrutural.

Para esta análise foi utilizada uma imagem Landsat TM composição colorida das bandas 3,4,5 de maio de 1984 com elevação solar 25° e azimute solar 40°. Na imagem de verão (janeiro de 1989) não foi possível identificar esta morfoestrutura devido a alta elevação solar 53°, não adequada a análise de relevo.

Esta estrutura, de aproximadamente 20 km de eixo principal e 10 km de eixo secundário - o que define a estrutura como braquisinclinal - é condicionada pela tectônica materializada pelos lineamentos associados e está associada ao basculamento

pelos lineamentos associados e está associada ao basculamento dos pacotes. SHUCK et al (1987) em estudo de padrões estruturais no Grupo São Bento no município de Quaraí, limitante com o município de Alegrete, identificaram morfoestruturas semelhantes revelando a presença de estruturas do tipo falhada, dômica, em bacia e em camadas sub-horizontalizadas.

Na área de pesquisa não foi possível identificar nenhuma morfoestrutura característica através da análise do relevo, mas estruturas com basculamento dos pacotes em áreas adjacentes, como a identificada neste trabalho e as citadas na bibliografia, estão relacionadas a movimentos tectônicos que também se fizeram sentir na área delimitada para a pesquisa como se mostrará em itens a seguir.

4.3 MODELO NUMÉRICO DO TERRENO

A textura do relevo é um importante fator no comportamento hidrogeológico de uma região. A morfologia, associada às condições estruturais, contribui diretamente na circulação e no armazenamento da água subterrânea.

Com a utilização das informações topográficas contidas nas cartas do Serviço Geográfico do Exército (SGE) na escala 1:50.000 e o processamento no SGI, foi elaborado um modelo numérico do terreno (MNT), ou seja, um modelo matemático tratável por computador que representa a variação contínua de relevo no espaço (BURROUGH, 1986). Este modelo é gerado a partir de amostras tridimensionais da superfície real, onde as coordenadas bidimensionais relacionam-se à posição de amostragem na superfície e a coordenada Z associada a característica que se quer modelar, no caso presente, os valores de cota topográfica.

Para tanto foi utilizado o sistema SGI, desenvolvido pelo INPE, que consiste em um banco de dados geográficos que permite adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente (ENGESPAÇO, 1989). A estruturação do SGI começa pelo projeto, onde todos os dados de interesse da região a ser estudada são reunidos baseados em um referencial geográfico comum. O projeto é dividido em uma série de planos de informações (PI) onde cada um dos quais registra um aspecto temático (BURROUGH, 1986). Cada PI pertence a uma das três categorias seguintes:

- imagem espectral : obtida por satélite;
- polígonos : região que delimitam classes (temas) do PI;
- modelos numéricos do terreno.

Quanto ao formato dos dados, existem dois modelos básicos:

1- modelo vetorial, ou seja, as feições do mundo real são representados por pontos, linhas e polígonos que definem seus limites. A posição de cada feição é definida por um sistema de coordenadas;

2- modelo de varredura ou "raster" no qual o espaço é regularmente subdividido em células, onde a localização de feições é definida pela posição da linha e da coluna de cada célula que a feição ocupa. A área que cada célula representa define a resolução espacial.

Os dados de altimetria foram armazenados no SGI através da digitalização, via mesa digitalizadora, das curvas de níveis presentes nas cartas topográficas com 20 m de equidistância. As linhas são armazenadas como um conjunto de pontos, gerando uma amostragem irregular, sendo necessário a aplicação de um interpolador para gerar uma grade regular.

A grade gerada, com resolução de 200 x 200 m, foi posteriormente transformada para o formato "raster", onde a cada célula atribui-se um valor numérico, ou nível de cinza, variando entre 0 e 256. Este procedimento é necessário para o processo de fatiamento do PI em classes de altitudes. Na opção fatiamento do SGI os valores são divididos em intervalos de classes os quais se atribui cores diferentes a fim de se gerar uma saída gráfica.

O PI no formato "raster" é adequado para o cálculo de diversos parâmetros, como a declividade por exemplo, e pode ser manipulado para operações matemáticas com outros PIs de mesmo formato e de mesma resolução.

A figura 4.3.1 mostra a saída via "ploter" do MNT da área. Observa-se um relevo aplainado na parte norte e mais dissecado

com cotas maiores na parte Sul. A variação do nível topográfico é de aproximadamente 120 m. As partes mais baixas com cotas no intervalo de 80 a 100 m e que se estendem no sentido SE-NW são as calhas dos principais rios da região como o Arroio Caverá e o Rio Ibirapuitã.

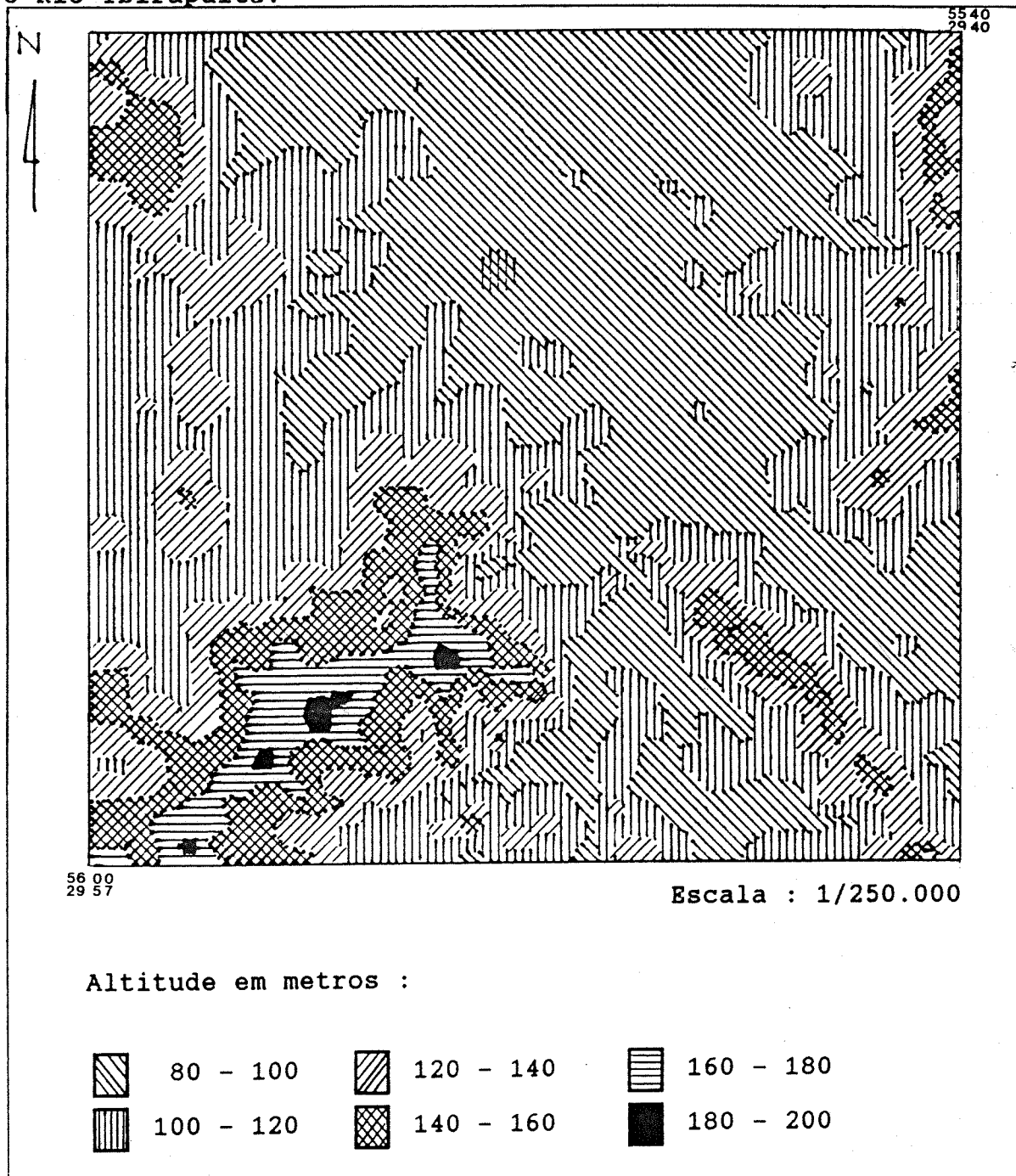


Figura 4.3.1 - Modelo Numérico do Terreno

4.4 ANÁLISE DOS LINEAMENTOS

A análise dos alinhamentos e lineações de relevo e de drenagem foi utilizada com o objetivo de caracterizar padrões de fraturamento e morfoestruturas.

O estudo e a análise dos lineamentos sofreu um incremento nas últimas décadas, após o aparecimento de imagens de altitudes elevadas, como as imagens de satélite. Como existe uma terminologia conflitante (SOARES et al, 1982) faz-se necessário primeiramente definir os termos utilizados durante a interpretação das imagens:

- Feição linear : arranjo linear de elementos texturais de imagens.
- Lineação : feição linear retilínea ou arqueada, individual, traçável na imagem.
- Alinhamento : arranjo alinhado retilíneo ou arqueado de formas de imagem.
- Lineamento : feição linear mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua, da superfície terrestre, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere distintamente dos padrões de feições que lhe são adjacentes e, presumivelmente, refletem um fenômeno da subsuperfície.

Este último conceito foi empregado originalmente por HOBBS (1904) e modificado por O'LEARY et al (1976). Neste trabalho restringiu-se a aplicação do termo a elementos com conotação estrutural, ou seja, a uma família de feições naturais na superfície terrestre em forma alinhada, refletindo uma descontinuidade estrutural em subsuperfície.

SOARES et al (1982) considerando que as condições

geológicas e estruturais da Bacia do Paraná, aceita como uma unidade tectônica sem evidências de grandes perturbações estruturais e, conseqüentemente, sem geração de estruturas muito variadas, supõem que seus lineamentos representem reflexos em superfície de descontinuidades profundas, tipo falhas. Entretanto advertem que se deve esperar que um grande número de lineamentos mapeados na Bacia não sejam falhas, pelo menos em superfície, e sim faixas concentradas de fraturas.

A determinação do significado de um lineamento em imagem não pode tão pouco ser confiada ao exame de condições geológicas por trabalhos de campo. Estudos de dados geofísicos e da evolução tectônica da área são necessários para afirmar a validade e significância de muitos lineamentos. Todavia não se deve deixar de considerá-los como representantes de uma feição geológica real. Ignorá-los, até que fossem comprovados em campo ou por outros recursos, seria desprezar uma soma valiosa de informações potenciais que podem ser extraídas das imagens de sensores remotos (SOARES et al, 1982).

A importância da tectônica no comportamento hidrogeológico da área foi observada por GREHS e SZUBERT (1971) que constataram uma estreita correlação entre o comportamento da água subterrânea e as lineações tectônicas que afetaram os diversos derrames da Formação Serra Geral e os arenitos eólicos da Formação Botucatu. Este estudo também concluiu que propriedades com mais de 300 ha dispõem de pelo menos um lineamento. Este parâmetro é utilizado para o estudo de locação de poços na região com bons resultados práticos.

TAKAHASHI (1991) e MOBUS (1987) em trabalhos realizados no aquífero Serra Geral na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul ressaltaram que os lineamentos provenientes de descontinuidades profundas, produzidas por deformações

tectônicas, são de fundamental importância, pois influem decisivamente no comportamento da água subterrânea em um meio fraturado.

Para o reconhecimento e a extração de lineamentos os critérios foram as expressões dos elementos topográficos do relevo, tais como : linhas ou segmentos de escarpa, alinhamento de cristas, vales, trechos de rios e depressões alongadas. O método baseou-se nos critérios de fotointerpretação propostos por SOARES e FIORI (1976) e VENEZIANI e ANJOS (1982) que se constitui fundamentalmente na análise de elementos estruturais de relevo e drenagem. Alguns lineamentos foram identificados através de feições lineares que separam terrenos com diferentes texturas e feições tonais lineares de natureza não antrópica.

No geral estes elementos são quase sempre controlados estruturalmente. Fraturas ou zonas de fratura na crosta terrestre afetam de várias formas a topografia ou as feições do terreno (LIU, 1988). Falhas podem produzir escarpamento em rochas de um mesmo tipo por deslocamento vertical de blocos, ou colocar em um mesmo nível, por deslocamento horizontal, rochas diferentes que sofrem erosão diferencial e conseqüente formação de escarpas ao longo do falhamento. As fraturas ou as zonas de fraturas controlam a distribuição linear da vegetação e do fluxo da água subterrânea.

Foi utilizado no presente trabalho o critério de não inferência, assim, uma seqüência de feições lineares com a mesma direção, mas não claramente contínua ou mesmo interrompida por outras feições lineares de direções diferentes, deve ser representada por uma seqüência de lineamentos cujos comprimentos são compatíveis com o comprimento de cada feição linear que representa, e não por um lineamento único que englobe todos os segmentos observados. Com

este procedimento obtem-se o traçado correspondente aos eventos geológicos seguramente existentes no terreno.

Adotou-se na análise dos produtos de sensoriamento remoto o conceito "multi" (SCHUCK et al, 1990) que consiste na utilização de diferentes produtos de fontes diversas em diferentes bandas do espectro e em diferentes escalas, o qual permite a obtenção de uma maior quantidade de informação das imagens do que se as mesmas tivessem sido analisadas isoladamente.

Foram utilizados para a extração de dados os seguintes produtos :

- Mosaico de radar, abertura sintética, radar GEMS 1000, banda X, folha SH-21-X-C de 1976 com escala 1:250.000;
- Imagem Landsat MSS banda 7 de 15/09/78, elevação solar 23°, azimute solar 42° e escala 1:500.000;
- Imagem Landsat MSS composição colorida bandas 4,5 e 7 de 18/01/77, elevação solar 18°, azimute 51° e escala 1:500000.

O traçado foi realizado sobre um papel "overlay" com canetas pantográficas 0,2 mm e auxílio de lupa de mesa. Posteriormente cada traçado foi digitalizado via mesa digitalizadora e armazenado como um plano de informação no SGI. Através deste último foi possível uniformizar-se as diferentes escalas e sobrepor os três planos resultantes de cada traçado individual. Finalmente obteve-se um produto final com o traçado de todos os lineamentos em uma escala uniforme de 1:250.000.

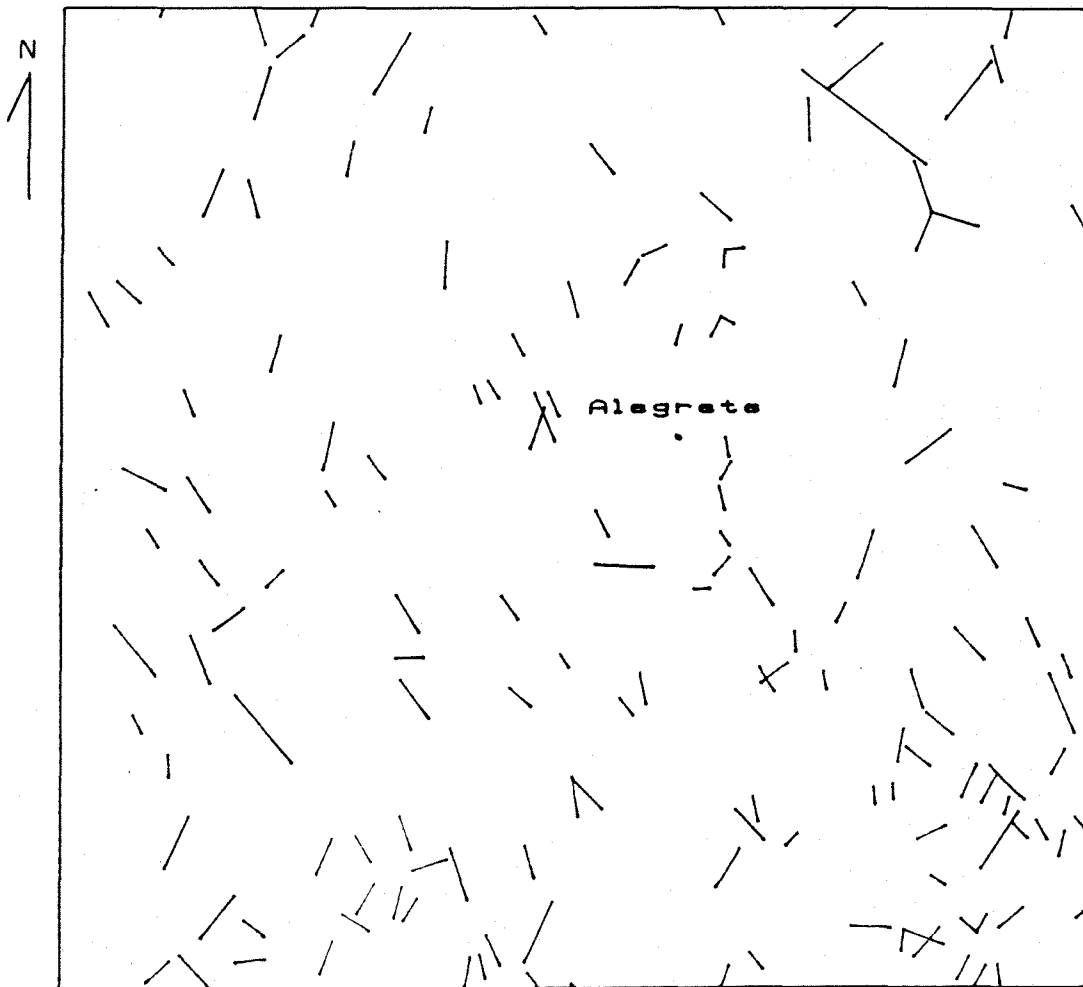
4.4.1 Lineamentos em imagem de RADAR

A figura 4.4.1 apresenta o traçado dos lineamentos obtidos na imagem de radar especificado anteriormente e é uma saída via ploter do SGI na escala 1:250.000.

As imagens de radar são usualmente utilizadas para investigações geológicas principalmente pela sua capacidade de apresentar o relevo da superfície com boa resolução. Entre as várias informações geológicas extraídas de imagens de radar uma das mais importantes e características são os lineamentos (YAMAGUCHI, 1985).

Entretanto a detecção dos lineamentos é geralmente influenciada por vários fatores, como por exemplo, as especificações técnicas do sistema sensor, condições da superfície imageada e a qualidade da imagem entre outros. Assim a despeito do bom desempenho do radar no realçamento do relevo, as diferenças dos ângulos de depressão para as porções distais ("far range") e proximais ("near range") da faixa imageada resultam em um sombreamento diferenciado, acentuando as feições topográficas mais próximas à antena, o que pode resultar em uma falsa diferenciação de padrões morfológicos (MIRANDA, 1983). Com um ângulo de depressão próximo às declividades existentes na superfície se obtém um melhor efeito de sombra nas imagens de radar (YAMAGUCHI, 1985).

Para a análise do significado de tonalidades em imagens de radar deve se partir de um enfoque diferente do que aquele usado em aerofotos ou em imagens de satélites. As oito tonalidades de cinza registradas nas imagens são reflexos do efeito da rugosidade do terreno e da constante dielétrica dos materiais. As tonalidades que vão do preto ao branco são portanto um produto do grau de reflexão do terreno, assim as



Escala : 1/250.000

Figura 4.4.1 - Lineamentos mapeados em mosaico de radar.

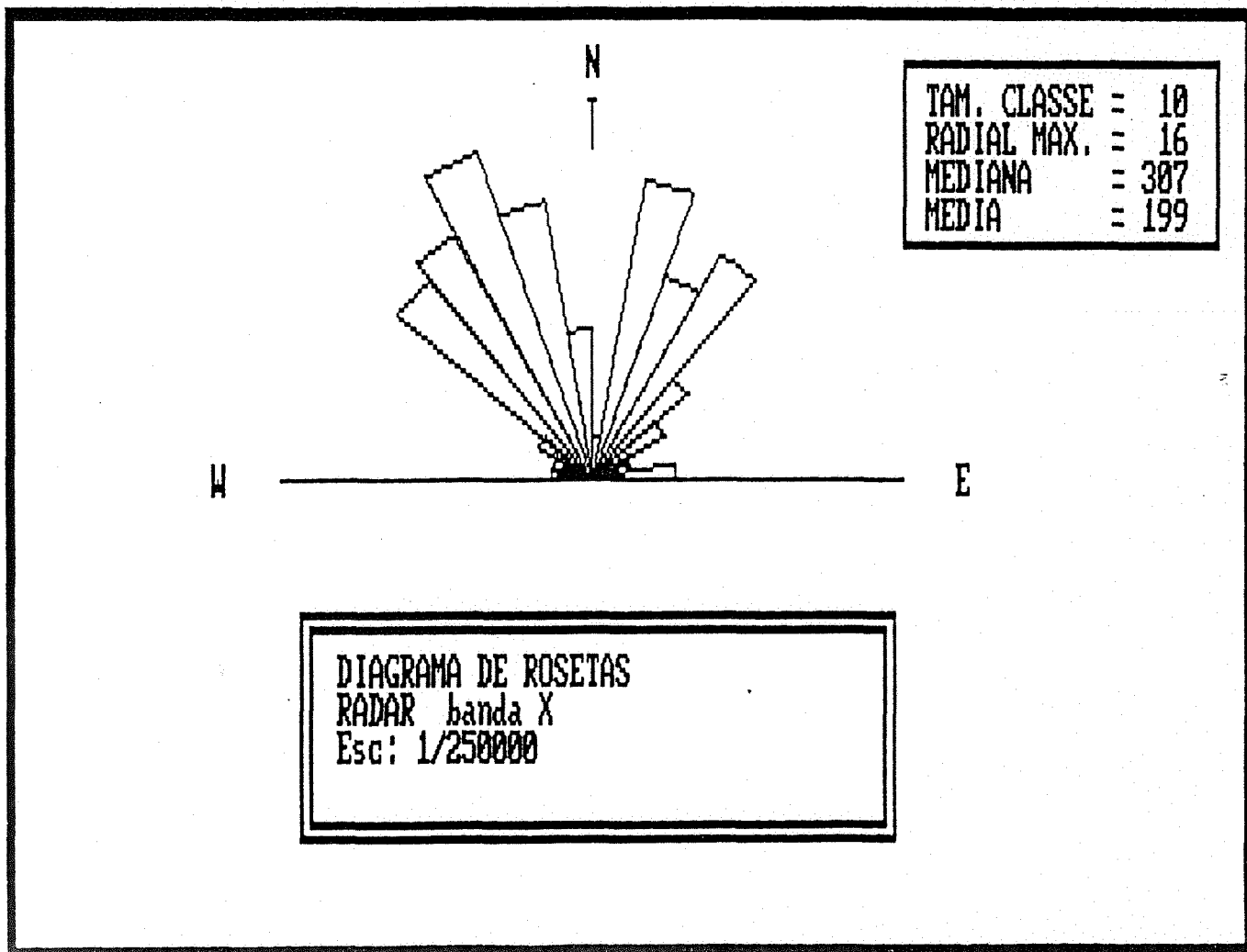


Figura 4.4.2 - Diagrama de rosetas para lineamentos mapeados em mosaico de radar.

4.4.2 Lineamentos em imagens LANDSAT MSS

Duas imagens MSS foram utilizadas para a extração dos lineamentos, ambas na escala 1:500.000 . Uma na banda 7 (0,8-1,1 μm) na faixa do infravermelho e a composição colorida das bandas 4 (0,5-0,6 μm), 5 (0,6-0,7 μm) e 7 (0,8-1,1 μm). A escolha por estas imagens foi feita por possibilitarem a identificação de um número maior de lineamentos do que os observados nas outras bandas espectrais.

As imagens MSS, apesar de pior resolução (79 m) comparados a resolução de radar (25 m na escala 1:250.000), possuem ilimitados recursos para análises tonais, possibilitando o reconhecimento de outros alinhamentos, não expressos apenas por formas de relevo e de drenagem, sendo importantes nas áreas com relevo arrasado ou coberto por solos espessos. Estes lineamentos tonais quase sempre refletem uma propriedade dos materiais de subsuperfície (SOARES et al, 1982). Os lineamentos expressos por tonalidades nas imagens caracterizam-se por contraste de níveis de cinza em relação às tonalidades de feições adjacentes. Há que se dar atenção, entretanto, para não as confundir com outras feições de natureza artificial.

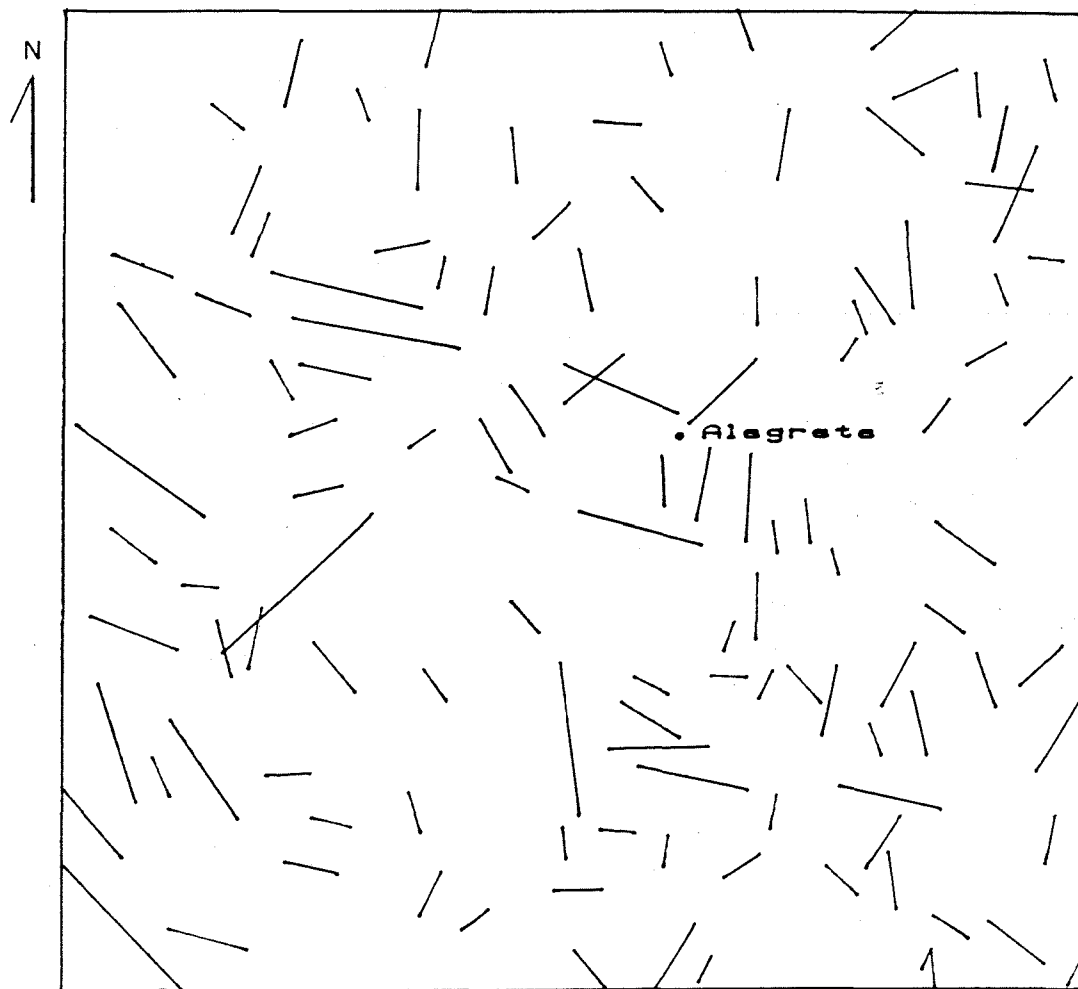
Deve-se considerar contudo algumas restrições às imagens MSS. O plano da órbita do Landsat é síncrono com o Sol, de modo a permitir uma repetitividade de iluminação durante o movimento de translação da Terra. Porém os valores dos ângulos de iluminação solar (elevação e azimute) não se mantêm constantes ao longo de uma determinada órbita, variando conforme a latitude e a estação do ano. Estas mudanças de azimute e de elevação do Sol têm grande influência no sombreamento da área imageada e, conseqüentemente, na detecção de feições geomórficas de caráter linear, como os lineamentos

(MIRANDA, 1983).

Para uma determinada feição linear, quanto menor a elevação solar maior será o sombreamento e mais claramente ela será detectada na imagem; conseqüentemente os menores ângulos de elevação solar revertem em maior realce do relevo e permitem a identificação de um número maior de lineamentos estruturais presentes na área. RODRIGUES e LIU (1988) advertem porém que não se deve deixar de considerar que o azimute solar pode ser tão importante quanto a elevação. Estes autores obtêm diferentes traçados dos lineamentos de uma mesma área, variando o parâmetro de azimute solar. Feições lineares paralelas à direção dos azimutes não ficaram suficientemente nítidas, devido ao pouco sombreamento.

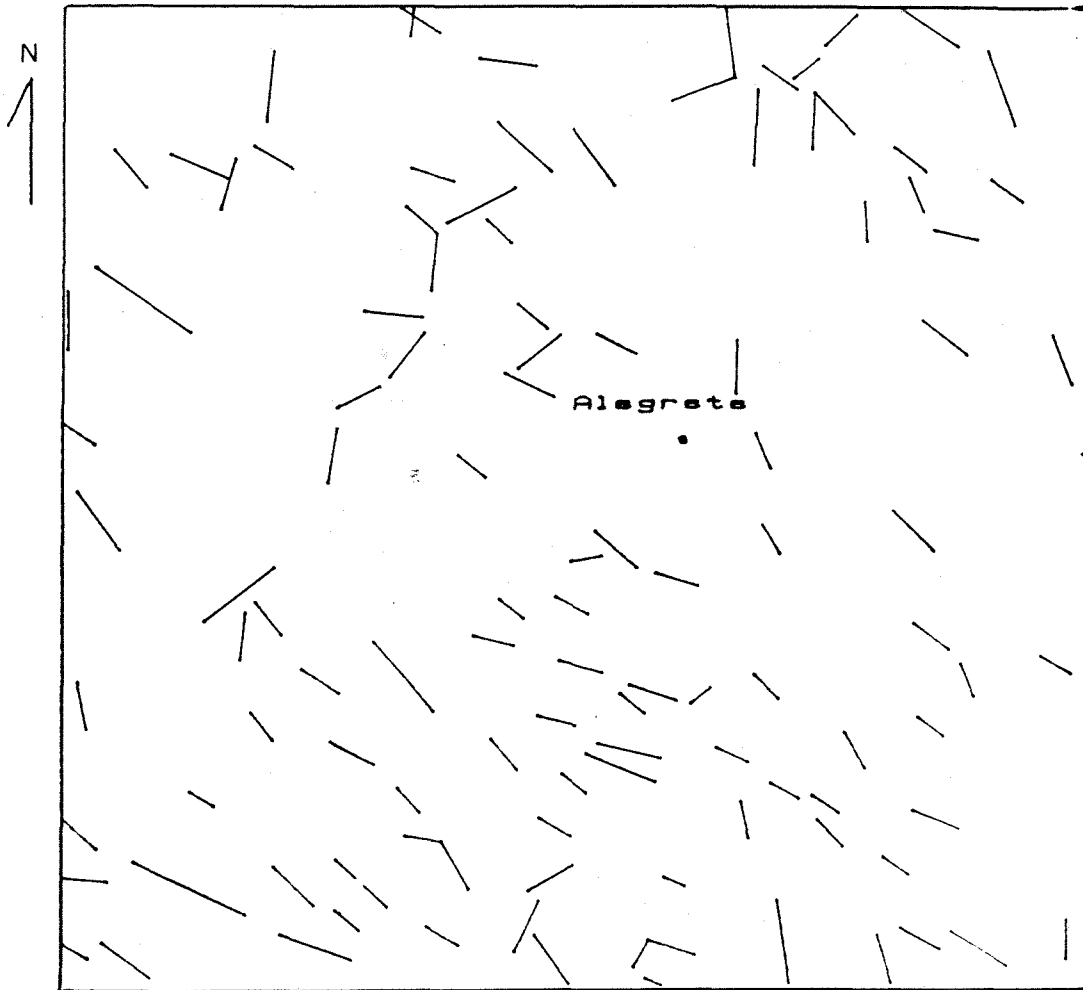
As figuras 4.4.3 e 4.4.4 representam o traçado dos lineamentos nas imagens MSS banda 7 e composição colorida respectivamente. Observa-se nesta última uma maior distribuição de lineamentos na parte Sul da área, os quais são na sua maioria da direção N-W, realçando principalmente os elementos de relevo predominantes nesta porção. Já na parte Norte, de relevo mais aplainado, as feições lineares mapeadas são em geral elementos de drenagem. O diagrama de rosetas deste traçado (figura 4.4.5) mostra a desigualdade entre o número de lineamentos do quadrante NE dos lineamentos do quadrante NW, estes em maior número e com a direção $N45\pm 5W$ sendo a preferencial.

O mapa dos lineamentos obtidos na banda 7 (figura 4.4.3) revela uma maior uniformidade quanto a distribuição espacial. Isto pode ser observado também no diagrama de rosetas correspondente a este traçado (figura 4.4.6). Cabe ressaltar que os elementos tonais foram registrados principalmente nesta imagem.



Escala : 1/250.000

Figura 4.4.3 - Lineamentos mapeados imagem MSS, banda 7.



Escala : 1/250.000

Figura 4.4.4 - Lineamentos mapeados imagem MSS,
composição colorida.

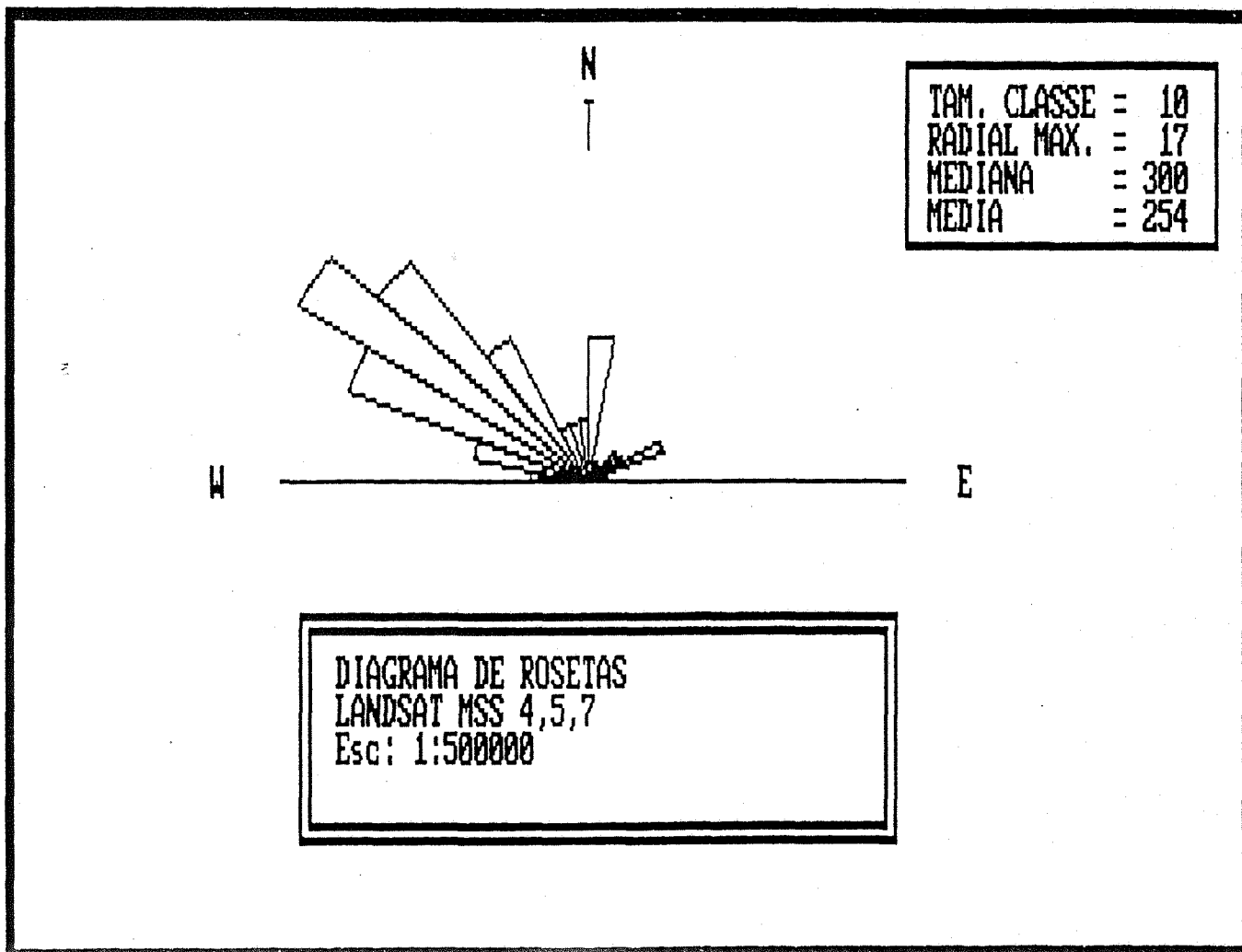


Figura 4.4.5 - Diagrama de rosetas para lineamentos mapeados em imagem MSS, composição colorida.

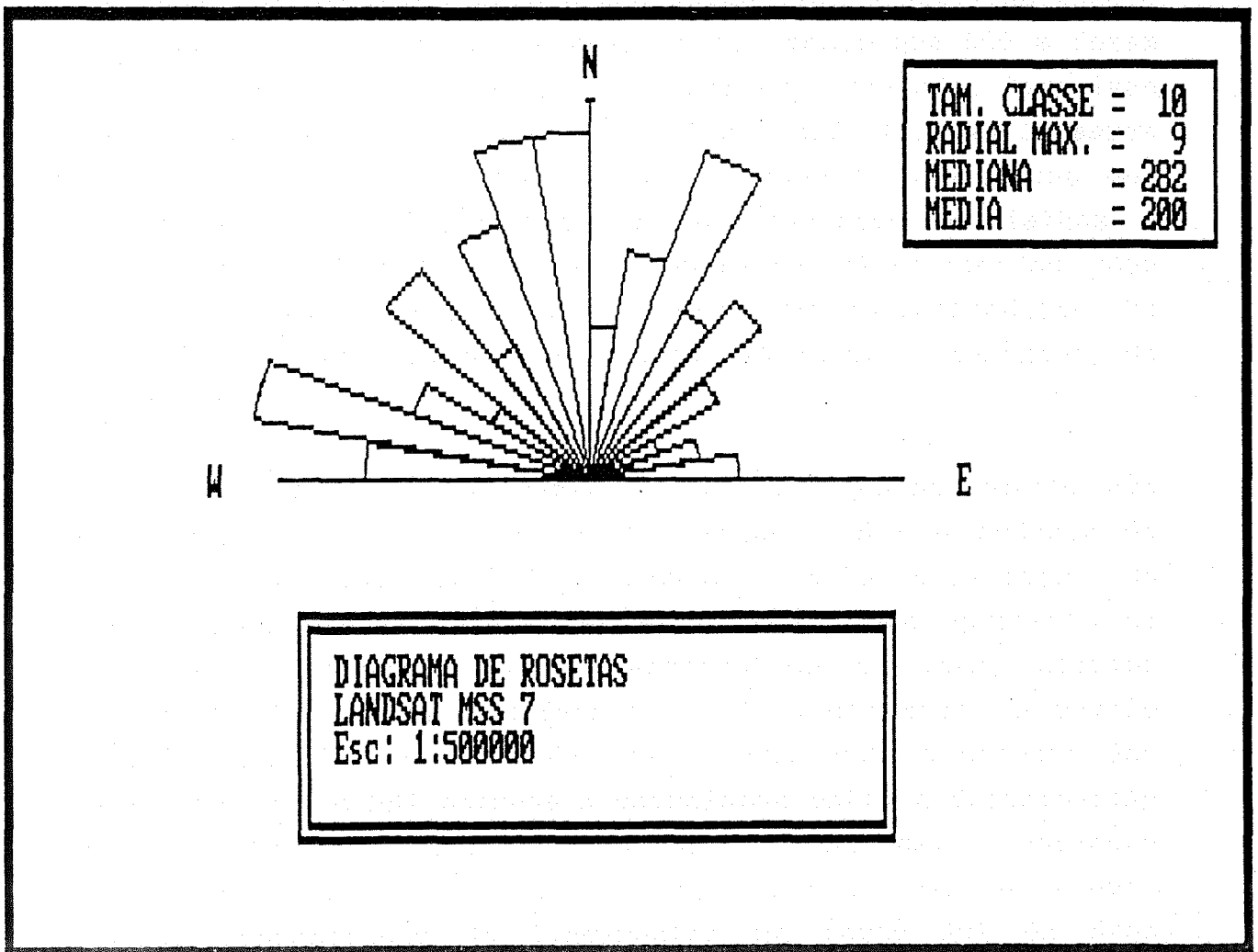
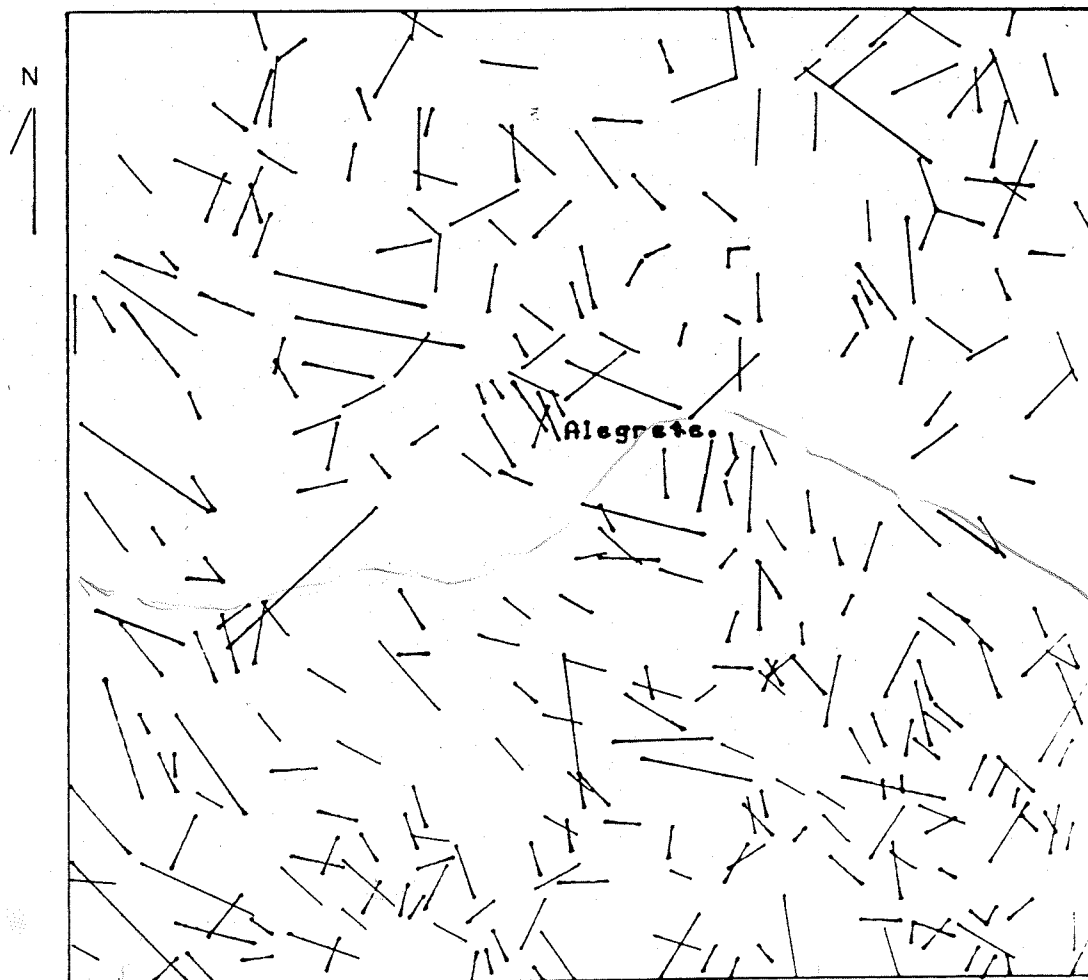


Figura 4.4.6 - Diagrama de rosetas para lineamentos mapeados em imagem MSS, banda 7.

SOARES et al (1982) em estudo das morfoestruturas da Bacia do Paraná, utilizando imagens Landsat e de radar, definiram seis direções preferenciais para os lineamentos. Entre elas a direção denominada de Médio Ivaí (N45±5W). Segundo os autores esta direção aumenta no sentido das camadas mais antigas (pré-vulcânicas) sendo zonas de fraqueza que antecederam o vulcanismo Juro-Cretácico e foram pouco reativados no final e após o vulcanismo basáltico. Na área mapeada no presente trabalho esta direção pode ser observada predominantemente na porção sul e sudeste onde a análise de fotos aéreas revela a presença de afloramentos do arenito Botucatu.



Escala : 1/250.000

Figura 4.4.7 - Mapa de lineamentos final

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS ESTRUTURAIIS

Os dados obtidos da interpretação estrutural em imagem de radar e de satélites foram integrados e sistematizados através de técnicas geomatemáticas, buscando obter informações sobre a distribuição espacial e orientação dos lineamentos. Empregou-se a análise de superfície de tendência, considerada uma das ferramentas mais utilizados da geoestatística para o tratamento de dados distribuídos em uma área.

Na geologia estrutural qualquer observação obtida deve ser interpretada como resultante de duas causas, ou forças, ou conjunto de forças: a que configura o padrão regional e a que causa desvios (anomalias) do mesmo padrão (DAVIS, 1973).

A técnica de superfície de tendência procura ajustar, através do método dos mínimos quadrados, uma superfície linear que melhor se adapte aos valores observados. Pode-se interpretar esta superfície como a tendência regional e a diferença entre os valor observado e o calculado, o resíduo, como a componente local (anomalias) do padrão regional.

Estas componentes, de caráter subjetivo se utilizarmos uma definição geológica de tendência e de desvio, são abordadas através de uma definição operacional que especifica a maneira no qual os dados são tratados. Uma tendência pode assim ser definida como uma função linear de um grupo de observações e de suas coordenadas geográficas de modo que a função escolhida minimize o quadrado dos desvios. Esta abordagem é uma adaptação dos métodos estatísticos de regressão múltipla, sendo válidos portanto todos os parâmetros estatísticos de verificação de ajuste e hipóteses destas.

O ítem seguinte descreve o princípio básico da técnica estatística de tendência.

4.5.1 Superfície de tendência

Uma equação de regressão é uma expressão empregada para avaliar uma variável dependente Y em função das variáveis independentes " X_1, X_2, \dots, X_n ". Uma superfície de tendência linear é uma equação do tipo:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (4.1)$$

onde Y pode ser considerado como uma função linear de algum valor constante " b_0 " relacionado a média das observações, mais um componente " b_1 " que multiplica uma coordenada X_1 (este-oeste) e um componente " b_2 " que multiplica uma coordenada X_2 (norte-sul).

Por meio do método dos mínimos quadrados são calculados os coeficientes de regressão parcial " b_i ", que melhor definem uma superfície que se ajuste ao conjunto de pontos. Como as equações polinomiais são extremamente flexíveis, a superfície linear pode ser expandida para uma superfície de grau " p " qualquer, sendo que na natureza a componente regional de grandes áreas raramente poderá ser descrita por um plano ou superfície de primeira ordem (WERMUND e JENKINS, 1970 apud MOBUS, 1987). Uma superfície quadrática (segundo grau), por exemplo, é definida pela equação expandida :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2 \quad (4.2)$$

Em uma distribuição aleatória a medida que o grau do polinômio aumenta o ajuste melhora (AMARAL, 1976). Porém expandir o polinômio para graus superiores implica no incremento das operações matemáticas envolvidas, já que os polinômios de primeiro a oitavo grau tem respectivamente 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36 e 45 coeficientes parciais, e resultam em superfícies complexas aumentando a dificuldade de interpretação e diminuído a importância da análise das anomalias já que o melhor ajuste implica em menores resíduos.

Com os coeficientes b_i e com as coordenadas X_1 e X_2 de cada ponto é possível, então, obter-se o valor calculado Y_c de cada variável dependente Y . Este valor difere do observado Y_o em uma quantidade R_o denominada resíduo. O método dos mínimos quadrados consiste em tornar o menor possível a soma dos quadrados dos resíduos. Quanto menor for esse valor, melhor a superfície matematicamente definida se ajustará aos dados observados. A partir de Y_o , Y_c e R_o são calculadas as variações total, explicada e não explicada que guardam entre si o seguinte relacionamento :

$$\sum_{i=1}^n (Y_{o_i} - \bar{Y}_o)^2 = \sum_{i=1}^n R_i^2 + \sum_{i=1}^n (Y_{c_i} - \bar{Y}_c)^2 \quad (4.3)$$

onde \bar{Y}_o e \bar{Y}_c são as médias dos valores observados e calculados respectivamente e n o número de pontos.

A esquerda do sinal de igualdade temos a variação total, o primeiro termo do lado direito representa a variação não explicada e o segundo a variação explicada.

Com base nisto, a qualidade do ajuste de uma superfície de tendência pode ser testada estatisticamente, comparando-se a variação associada à regressão (tendência) e a variação

A primeira hipótese considera que os coeficientes de regressão parcial (b_1, b_2, \dots, b_n) são iguais a zero, ou seja, não há correlação entre as variáveis. Sendo os valores do quociente F superiores aos valores tabelados a um nível de significância estipulado, por exemplo 5%, rejeita-se a hipótese H_0 testada e a alternativa H_1 é aceita.

Segundo AMARAL (1976) o valor F é indispensável quando se quer determinar as fontes de variação observadas. A análise de variância assim executada é importante para se tomar decisões em casos onde os demais parâmetros do ajuste não são conclusivos.

DAVIS (1973) adverte para certos cuidados que deve-se ter quando se efetua a análise por superfície de tendência :

- O número de pontos observados deve exceder ao número de coeficientes da equação polinomial a ser calculada;
- Se testes estatísticos forem efetuados, o número de pontos deve ser suficientemente grande, pois eles determinam os graus de liberdade que por sua vez influem na eficácia da metodologia estatística;
- O número e o espaçamento dos pontos de controle tem influência direta no tamanho dos desvios locais que podem ser detectados na análise;
- As observações devem ser feitas apenas em relação à área coberta pelos pontos.

4.5.2 Análise da distribuição espacial dos dados estruturais

Para a análise da relação espacial entre o comprimento dos lineamentos e a área de sua ocorrência foram utilizados os

lineamentos mapeados, descritos anteriormente, e integrados no SGI.

Sobre o mapa dos lineamentos, na escala 1:100.000, estabeleceu-se uma malha com oito linhas no sentido das paralelas e oito colunas no sentido dos meridianos, ficando assim a área subdividida em 64 quadrículas de aproximadamente 16 km².

Em cada quadrícula foram medidos o comprimento de todos os lineamentos nela compreendida. O parâmetro densidade de lineamentos (DL) foi calculado conforme a seguinte expressão :

$$DL = \frac{\sum L}{A} \quad (4.6)$$

onde $\sum L$ = somatório dos comprimentos dos lineamentos
A = área da quadrícula

Para uma melhor visualização, os valores foram uniformizados pela fórmula :

$$DL^* = \frac{DL_i - DL_{\min}}{DL_{\max} - DL_{\min}} \quad (4.7)$$

onde DL^* = densidade de lineamento uniformizada

DL_i = densidade de lineamento observada

DL_{\min} = valor da menor DL

DL_{\max} = valor da maior DL

Desta maneira o parâmetro densidade de lineamento apresenta um intervalo de variação de 0 a 1.

Para o processamento matemático-estatístico da distribuição espacial dos lineamentos foi empregado o programa TREND,

elaborado por DAVIS (1973) e adaptado para o microcomputador por MÖBUS (1987). O programa de análise por superfície de tendência consiste basicamente de três partes : uma rotina para gerar a matriz da soma das potências e dos produtos cruzados, uma equação que resolva e/ou inverta a matriz, e um algoritmo que plote os dados gerados. Os mapas das superfícies de tendência para os diversos graus do polinômio foram gerados no software SURFER através da interpolação dos dados provenientes do programa TREND.

A tabela 4.5.1 apresenta os parâmetros estatísticos da análise de tendência.

Tabela 4.5.1

Estatísticas		Superfície de Tendência			
		1ª	2ª	3ª	4ª
Soma dos Quadrados	Regressão	0,56	0,69	0,80	1,63
	Resíduos	3,41	3,28	3,18	2,34
	Total	3,97	3,97	3,97	3,97
Variâncias	Explicada	0,28	0,14	0,09	0,12
	Residual	0,06	0,06	0,06	0,05
Coef. de Deter.	R^2	0,14	0,17	0,20	0,41
Coef. de Corr.	R	0,37	0,42	0,45	0,64
F calculado	F_c	5,02	2,44	1,51*	2,44

* $F_c < F_t$

Com base nos coeficientes de determinação observa-se que somente a análise de tendência de quarto grau apresenta uma aderência razoável da regressão aos dados.

AMARAL (1976) aplicando a técnica de superfície de tendência para um conjunto de pontos definidos por números aleatórios, estabeleceu que para coeficientes de determinação menores que 0,3 o ajuste é fraco, entre 0,3 e 0,6 regular e acima de 0,6 considerado bom. O autor ressalta entretanto que um ajuste fraco não significa necessariamente que não exista uma tendência regional. Segundo DAVIS (1973) correlações inferiores a 0,3 fornecem um ajuste não adequado, entre 0,4 e 0,6 como interpretáveis, e maiores do que 0,7 como um ajuste que representa os dados amostrados.

Os valores obtidos para o quociente F nas análises de variância foram superiores aos valores F tabelados para as superfícies de 1ª, 2ª e 4ª grau a um nível de 5 %, o que levou-nos a aceitar a hipótese da existência de uma tendência regional para a variável dependente (densidade de lineamentos) em função da variável independente em questão (coordenadas geográficas) para estas superfícies. Já a superfície de 3ª apresentou um valor de F calculado menor do que o tabelado aceitando-se portanto a hipótese nula.

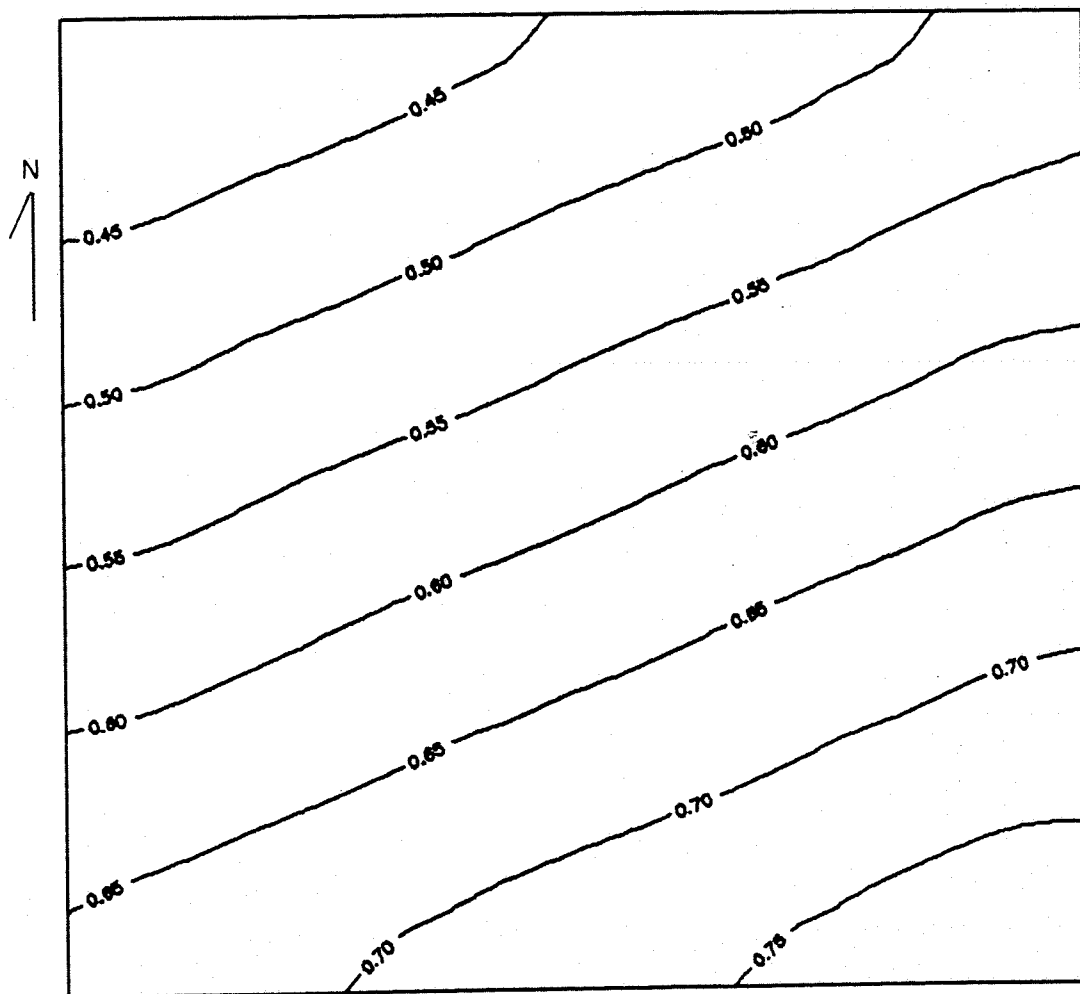
O mapa de superfície de tendência linear (1ª grau) apesar do baixo coeficiente de correlação ($R=0,37$) serve como uma visão simplificada da tendência regional. Pela análise da figura 4.5.1 observa-se o aumento da densidade de lineamento de NW para SE. O mapa de resíduos desta superfície (figura 4.5.2) apresenta diferenças entre o valor observado e o gerado pela equação de tendência de até 0,37 sendo reflexo do ajuste inadequado. Os desvios positivos, ou seja, onde os valores observados são maiores que os calculados, estão principalmente na parte sudeste e nordeste da área.

A superfície de quarto grau, que apresentou os melhores parâmetros de ajuste, é apresentado na figura 4.5.3. Verifica-

se com maior nitidez a tendência da densidade de lineamentos de possuir valores maiores na porção sul e sudeste da área. Esta porção na análise de relevo e na geração do MNT aparece com um relevo mais dissecado. A região NE da área que também apresenta cotas mais elevadas está representada no mapa de tendência de quarto grau com maiores valores de DL.

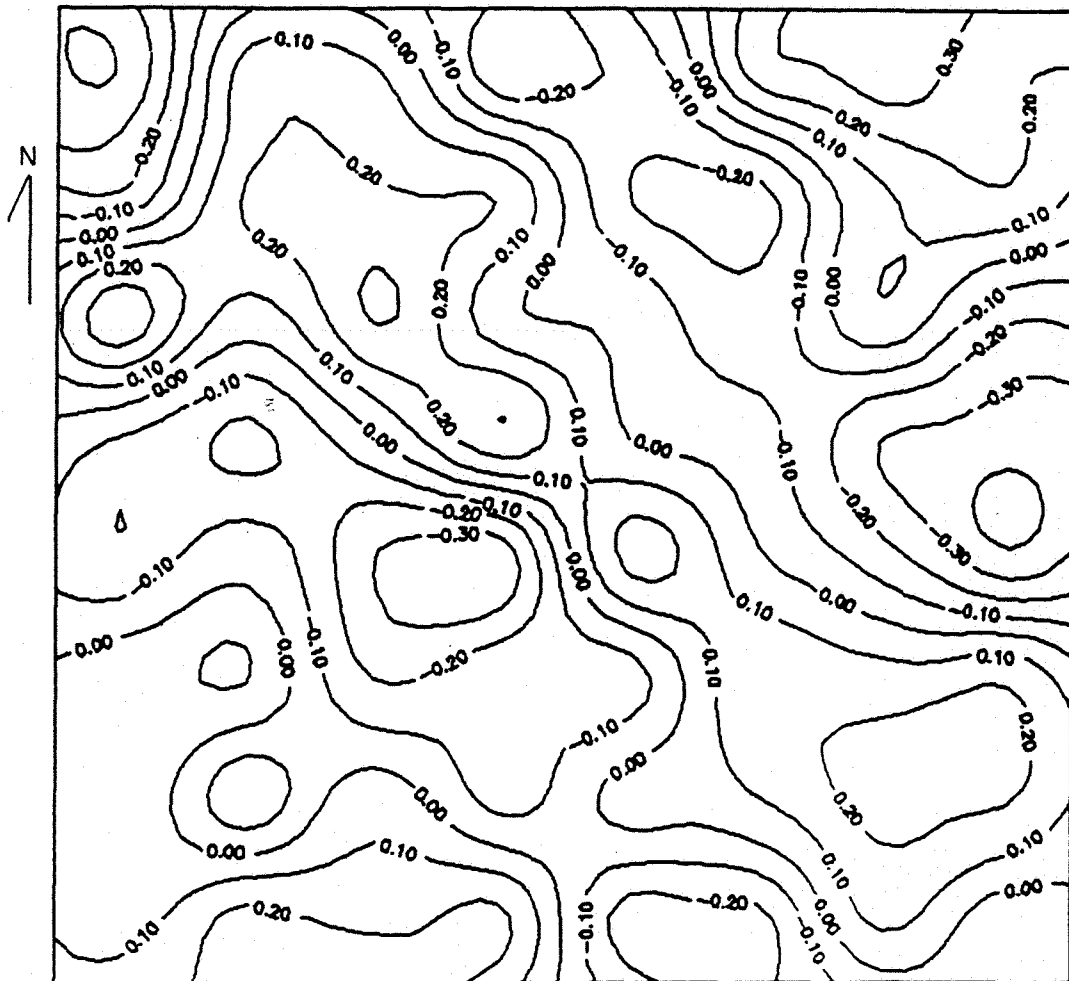
Nos resíduos da superfície de tendência do quarto grau (figura 4.5.4) observa-se que as áreas que apresentam as maiores anomalias positivas estão na parte central, nordeste e sul.

Em função dos resultados obtidos na análise desta superfície verifica-se que as áreas localizadas no extremo sudeste, sul e nordeste, que apresentaram as maiores anomalias positivas estão localizadas também nas zonas de alta densidade de lineamentos, configurando-se assim como áreas com maiores potenciais hidrogeológicos do ponto de vista da distribuição espacial dos lineamentos. Também a área central, próxima a cidade de Alegrete, apresentou altos valores de resíduos positivos caracterizando-se como uma área de interesse para a água subterrânea segundo o parâmetro aqui analisado.



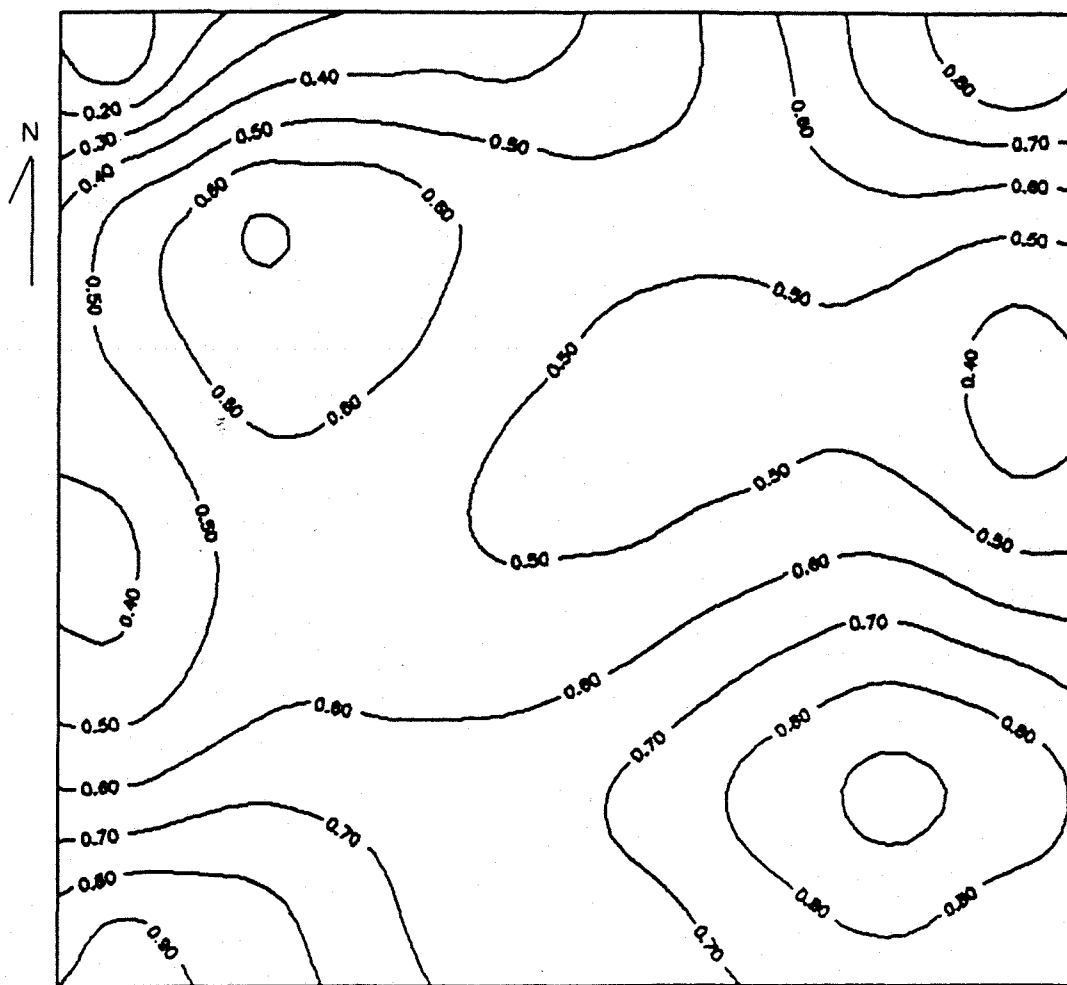
Escala : 1/250.000

Figura 4.5.1 - Superfície de 1ª grau
Distribuição superficial dos lineamentos.



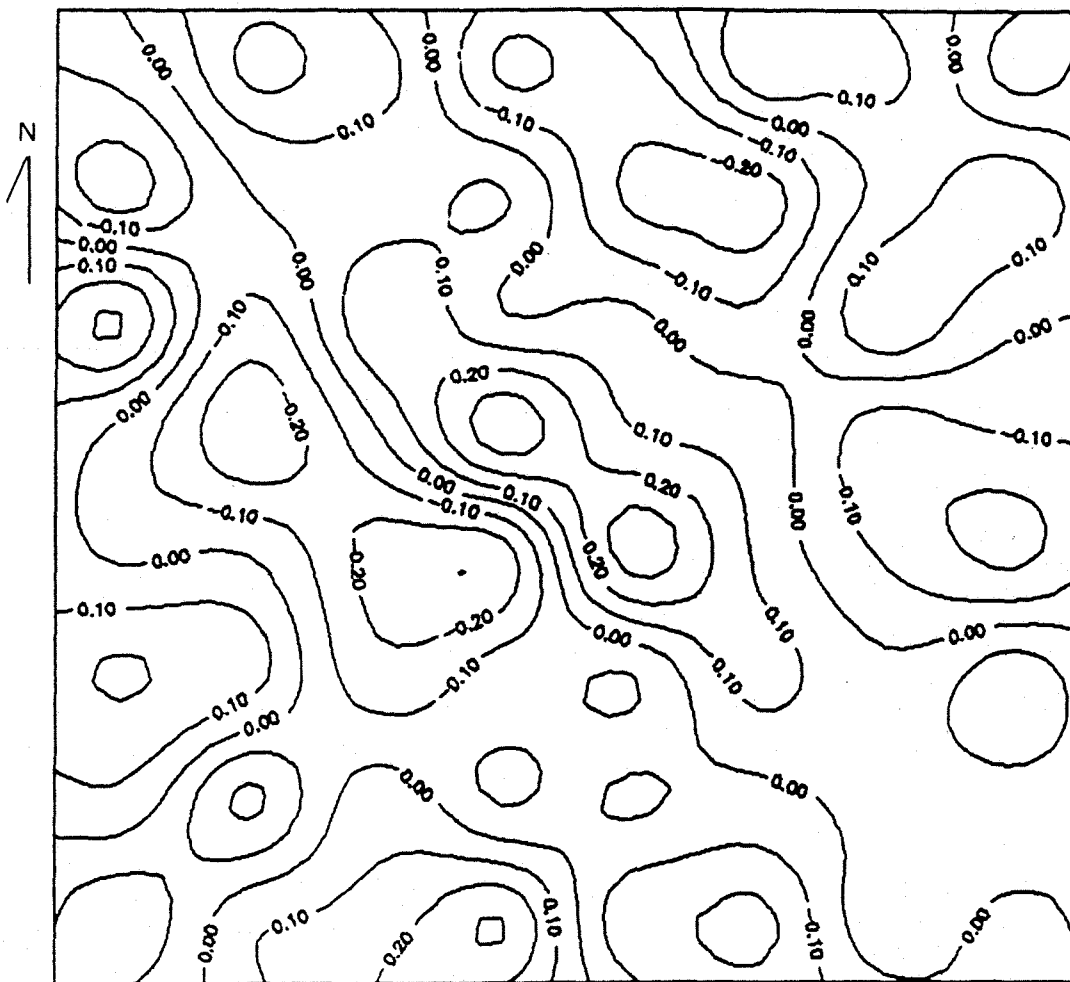
Escala : 1/250.000

Figura 4.5.2 - Resíduos superfície 1ª grau
Distribuição superficial dos lineamentos.



Escala : 1/250.000

Figura 4.5.3 - Superfície 4ª grau
Distribuição superficial dos lineamentos.



Escala : 1/250.000

Figura 4.5.4 - Resíduos superfícies 4ª grau
Distribuição superficial dos lineamentos.

4.5.3 Análise das orientações dos lineamentos

Através da técnica geomatemática denominada análise de tendência vetorial procurou-se visualizar o padrão de tendência regional das orientações dos lineamentos e as suas defleções (anomalias).

O mapa de lineamentos, utilizado no item anterior da distribuição espacial, foi dividido nas mesmas 64 quadrículas de 8 linhas e 8 colunas. Foram medidos 316 azimutes que discretizados nas 64 células deram origem a 373 valores observados. Os ângulos foram medidos a partir do norte do mapa, no sentido horário, em um intervalo de variação de 180 graus já que parâmetro de interesse é a direção dos lineamentos.

Para a análise estatística da tendência dos azimutes foi utilizada o programa para a análise de tendência vetorial de dados direcionais elaborado por FOX (1967) denominado VECTOR TREND ANALYSIS modificado e adaptado para microcomputador (MÖBUS, 1987).

Inicialmente o programa calcula o azimute médio para cada célula, utilizando os cossenos diretores dos azimutes integrantes de cada uma. O azimute médio obtido é interpretado como medida da tendência central da distribuição dos azimutes da célula. O princípio de cálculo tem por base a minimização da soma dos desvios e, conseqüentemente, a maximização dos cossenos dos desvios.

O programa gera, para cada célula, um vetor resultante R. A magnitude deste vetor funciona como medida da dispersão dos azimutes, em torno do azimute médio, sendo os lineamentos individuais considerados como unitários em comprimento. O valor

deverá variar de zero a N, sendo N o número de lineamentos existentes na célula. Em um caso extremo no qual todos os lineamentos fossem paralelos, R seria igual a N. Portanto quanto maior a divergência entre os ângulos, menor será o valor de R e vice-versa. Para expressar a dispersão em forma percentual foi utilizada a fórmula abaixo:

$$L = \frac{R}{N} \times 100 \quad (4.8)$$

onde L = magnitude do vetor resultante em percentagem
R = magnitude do vetor resultante
N = número de vetores observados

É calculado também o raio específico do círculo de confiança (θ) que se assemelha ao intervalo de confiança de uma regressão e, como tal, pode ser calculado para níveis de significância de 0,05 e 0,01. Por exemplo, o raio do círculo de confiança θ , ao nível de 0,05, significa que a probabilidade do azimute calculado desvie mais que o ângulo θ calculado é 5 % .

Calculados os azimutes médios para cada célula, o programa calcula, por álgebra matricial, os coeficientes dos polinômios ortogonais que determinam as superfícies de tendência. O resíduo de cada superfície é o produto da subtração do valor calculado para cada célula pelo valor do vetor resultante. Os parâmetros estatísticos de ajustes como os coeficientes de determinação e de correlação são também apresentados.

Os mapas das superfícies de tendência e de resíduos foram gerados, a exemplo do item anterior, pelo software SURFER, versão 4.14, da GOLDEN SOFTWARE Inc.

A figura 4.5.5 mostra os vetores resultantes médios de cada

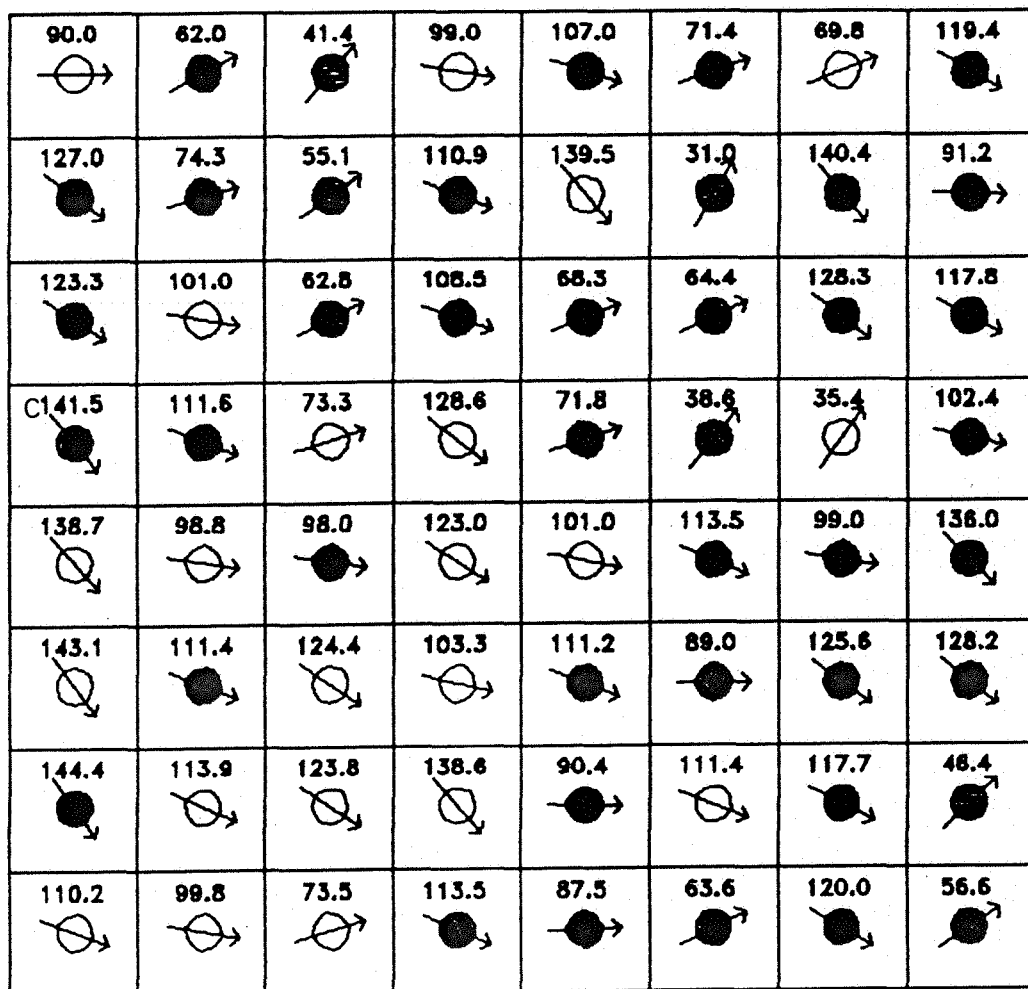
célula. Estão assinalados com um círculo preenchido os vetores resultantes que apresentaram pouca significância estatística, ou seja, vetores cujo círculo de confiança θ ou a magnitude percentual L excederam um limite tolerável; os limites adotados foram $\theta \leq 40^\circ$ e $L \geq 60\%$ (MÖBUS, 1987). De acordo com estes limites 66% dos vetores resultantes apresentaram baixos valores em termos de aderência, o que demonstra não haver uma direção preferencial para a área discretizada. O azimute médio regional calculado foi de $100,17^\circ$.

A análise dos vetores médios pode fornecer porém informações sobre a predominância de um ou outro padrão ao longo da área. Na porção Sul da área 85% dos vetores resultantes pertencem ao intervalo 90° - 180° demonstrando a tendência da direção dos azimutes nesta região.

O valor médio dos azimutes das células da terceira linha (A-B na figura 4.5.5) é $97,8^\circ$, concordando com o lineamento médio descrito na análise de drenagem e relevo que possui a direção aproximada N80W e localiza-se nesta região.

Na parte central, onde encontra-se a cidade de Alegrete, os valores dos vetores médios de cada célula pertencem ao primeiro quadrante (0° - 90°) e discordam dos valores médios das células vizinhas.

O mapa de isoazimutes, ou seja, o mapa de isolinhas que representa a distribuição dos azimutes médios na área, e o mapa de isodesvios gerado pela subtração do azimute médio de cada célula pelo azimute médio regional ($100,17^\circ$) são apresentados nas figuras 4.5.6 e 4.5.7 respectivamente.



A

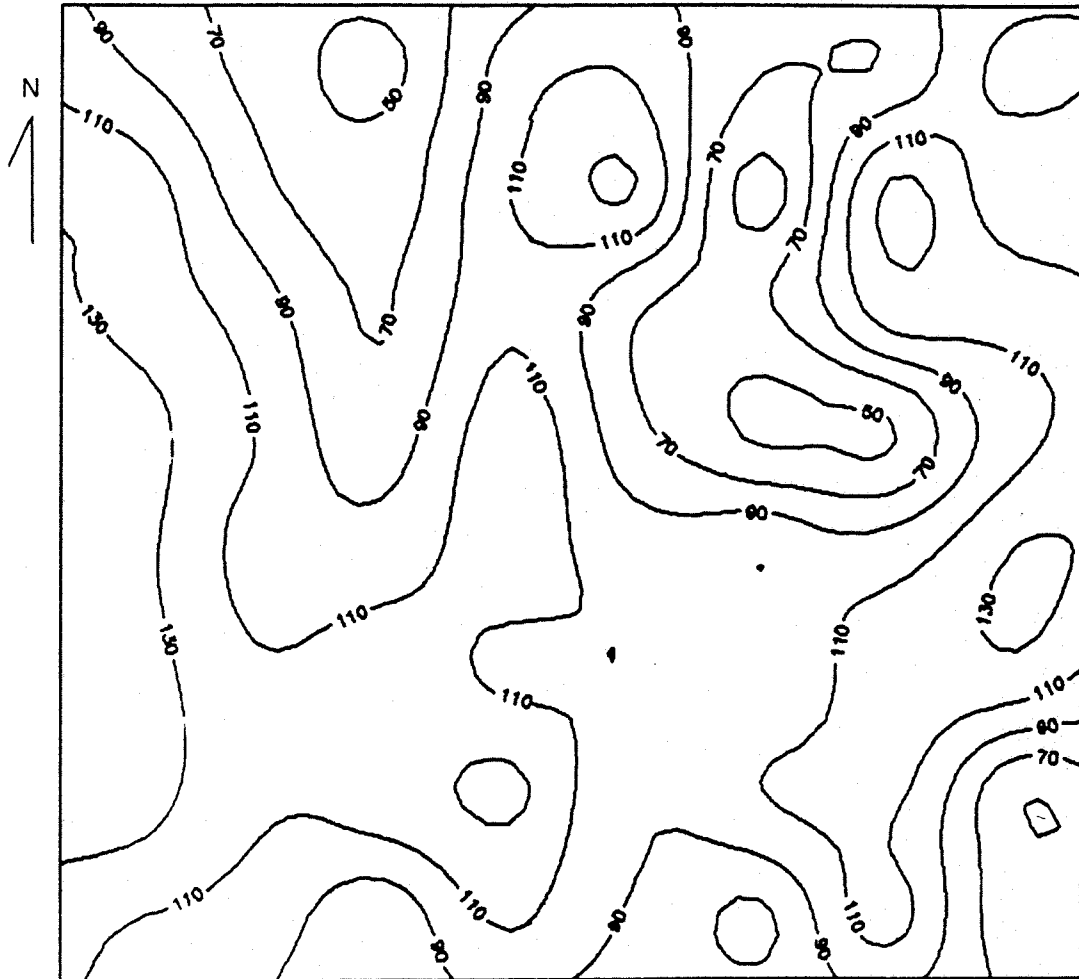
B

Escala : 1/250.000

Legenda:

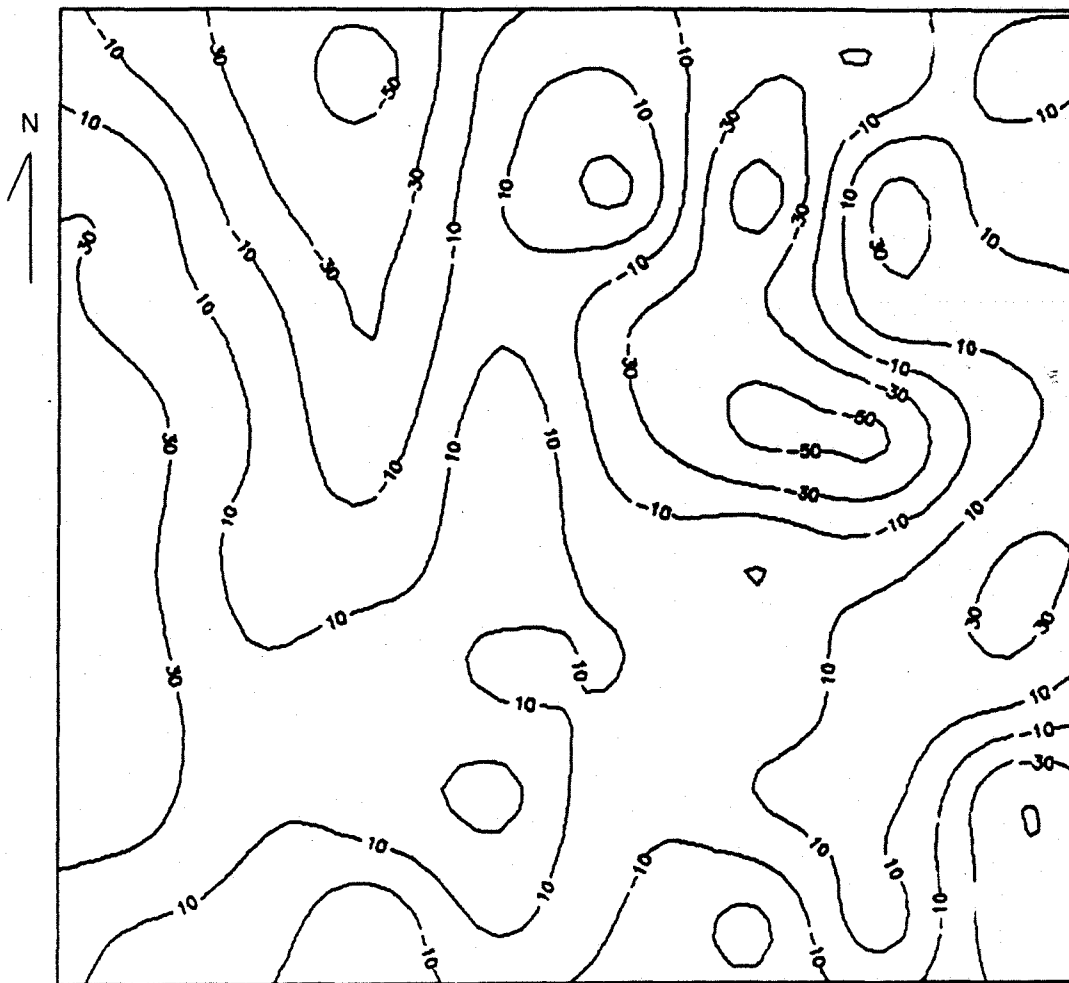
- pouca significância
- com significância
- vetor resultante

Figura 4.5.5 - Vetores resultantes médios



Escala : 1/250.000

Figura 4.5.6 - Isoazimutes resultantes médios.



Escala : 1/250.000

Figura 4.5.7 - Isodesvios resultantes.

Observa-se na primeira a presença, na porção centro-nordeste, de azimutes pertencentes ao primeiro quadrante, constituindo um conjunto de valores mínimos conjugados a valores máximos circunvizinhos. NORTHFLEET et al. (1976) em pesquisa sobre padrões de fraturas no nordeste brasileiro, produzidos principalmente por abatimento de blocos, observou a ocorrência de convergências dos vetores resultantes sobre baixos estruturais, o que serviu de base para a simulação de estruturas simples com o objetivo de auxiliar a interpretação dos mapas de tendência. Os autores admitiram a existência de um padrão regional de fraturamento e simularam um padrão tangencial em torno dos baixos estruturais, visto que a maioria destas feições eram produzidas pelo abatimento de blocos delimitados por falhas periféricas. Usando este modelo de perturbação regional os autores traçaram mapas de isoazimutes e isodesvios (figura 4.5.8) e concluíram que os altos e baixos estruturais são assinalados nestes mapas por máximos e mínimos conjugados.

Comparando os mapas propostos pela pesquisa acima descrita e os mapas obtidos no presente trabalho, pode-se observar a similaridade dos padrões. Os máximos e mínimos conjugados, como a diferença de comportamento entre as partes Norte e Sul da área, vem reforçar a presença da estrutura anteriormente detectada pela análise de imagens orbitais e que pode estar associada ao abatimento de blocos ao Norte e ao soerguimento ao Sul.

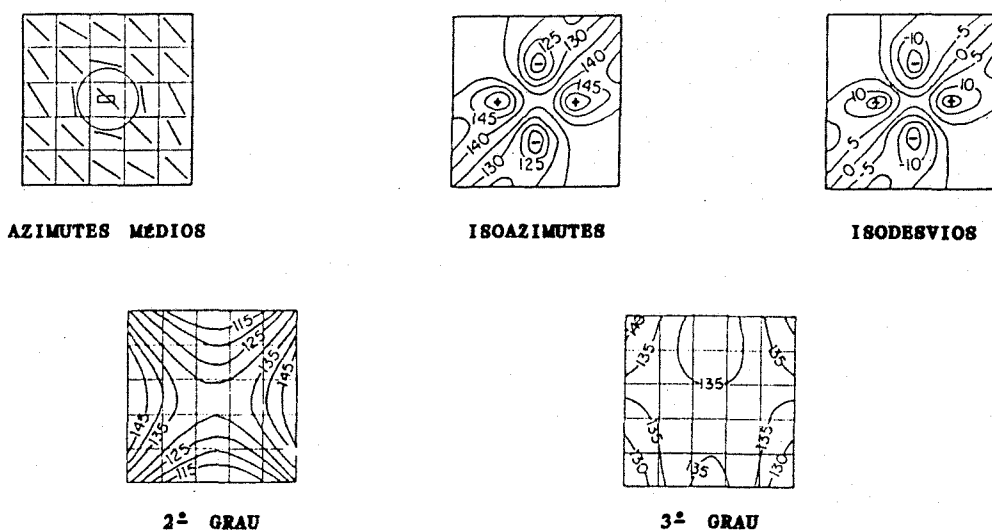


figura 4.5.8 Mapas de isoazimutes, isodesvios e tendências propostos

As superfícies de tendência geradas pelo programa apresentaram pouca aderência aos valores observados (tabela 4.5.2).

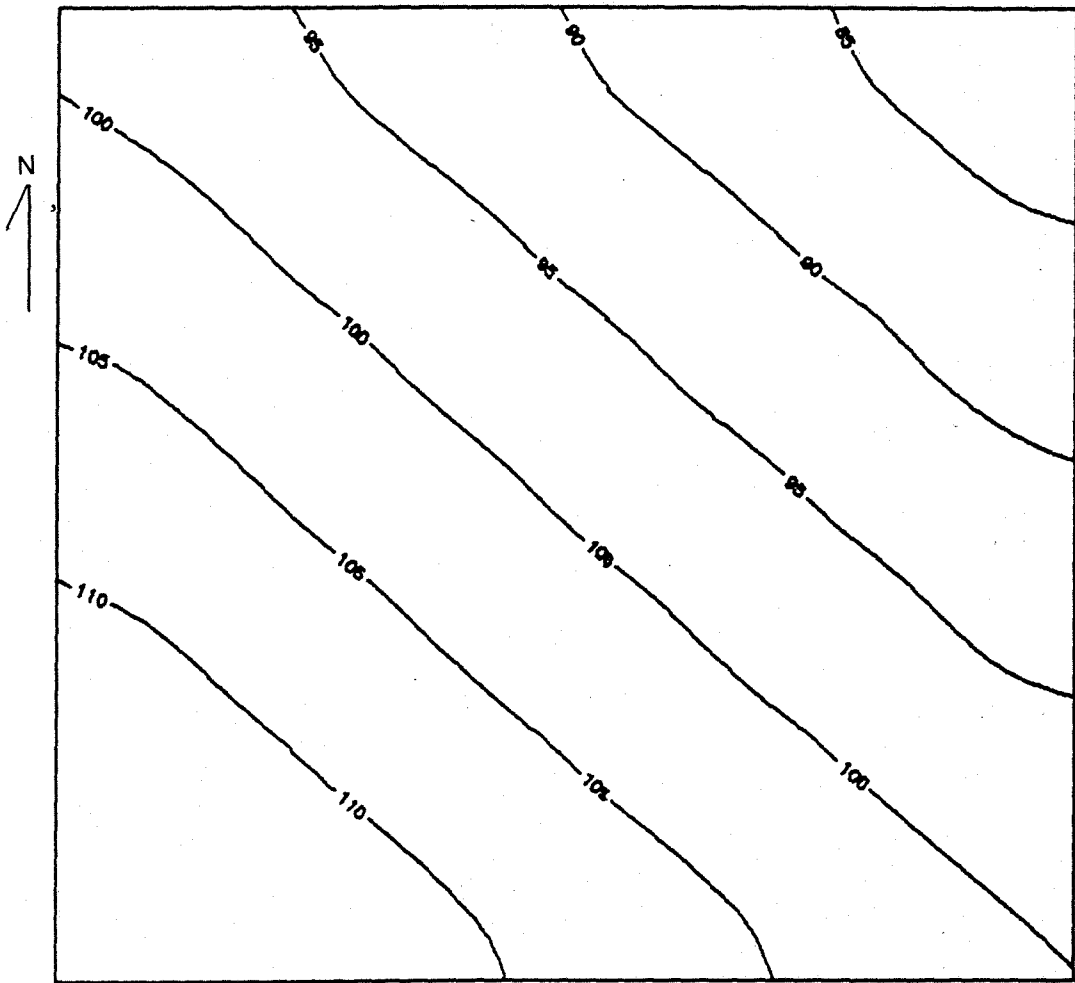
Tabela 4.5.2

Estatísticas		Superfície de Tendência		
		1ª	2ª	3ª
Soma dos Quadrados	Regressão	4086,0	12431,8	15957,7
	Resíduos	52289,3	43943,4	40417,6
	Total	56375,3	56375,3	56375,3
Variâncias	Explicada	2043,0	2486,4	1773,1
	Residual	857,2	757,6	748,5
Coef. de Deter.	R^2	0,07	0,22	0,28
Coef. de Corr.	R	0,27	0,47	0,53
F calculado	F_c	2,38	3,28	2,37

Verifica-se que a superfície de primeiro grau apresenta um coeficiente de determinação muito baixo o que implica na pouca confiabilidade de sua análise. Mas como primeira aproximação pode-se visualizar, na figura 4.5.9, que a tendência é a existência de lineamentos com azimutes maiores de 90° no sentido de nordeste para sudoeste. A isolinha que representa o valor médio regional ($100,17^\circ$) localiza-se na parte central da área. Observa-se também que os azimutes pertencentes ao segundo quadrante ($>90^\circ$) são predominantes.

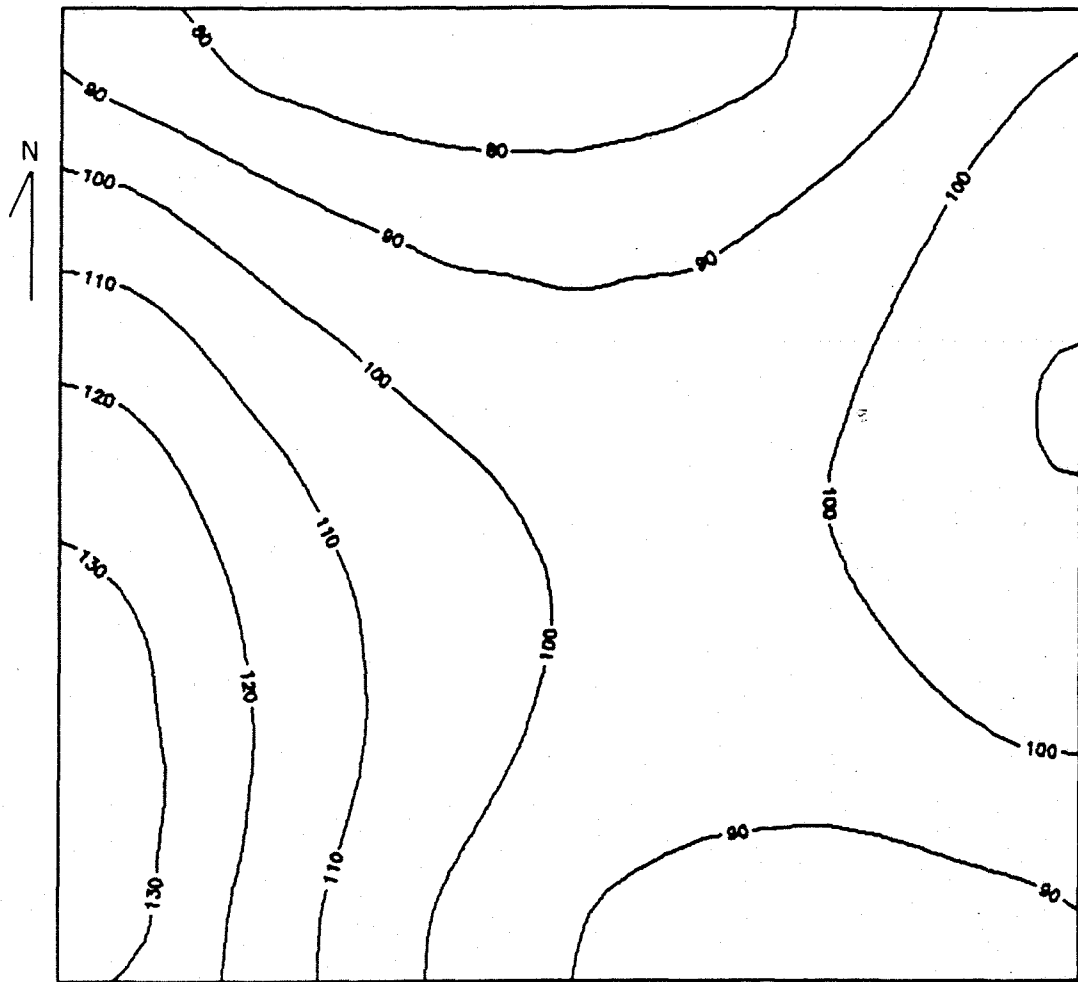
As superfícies de segundo e terceiro graus (figuras 4.5.10 e 4.5.11) apresentam também coeficientes de correlação baixos. As duas superfícies mostram, na sua parte Oeste, a presença de azimutes do segundo quadrante e do primeiro quadrante ao Norte. No trabalho citado de NORTHFLEET et al (1976) as superfícies de tendência gerados para o modelo proposto e aplicado a baixos estruturais apresentaram, para as superfícies de segundo grau, hipérbolas conjugadas com valores máximos e mínimos. Já o mapa de terceiro grau apresentou curvas fechadas (figura 4.5.8). Comparando-se com os mapas de segundo e terceiro graus gerados na presente pesquisa pode se observar características semelhantes. A superfície de segundo grau mostra máximos no oeste-leste e mínimos no norte-sul. A superfície de terceiro grau tem curvas fechadas na parte centro-norte com máximos à Oeste e mínimos ao Norte.

O mapa de resíduo da superfície de tendência de terceiro grau (figura 4.5.12) apresenta valores de desvios elevados, devido a fraca aderência dos dados à tendência calculada. Observa-se sua semelhança com o mapa de resíduos de vetores médios, com a presença de máximos e mínimos conjugados na parte centro-nordeste. Na porção Oeste onde os azimutes médios se aproximam daqueles fornecidos pela tendência, os desvios são baixos.



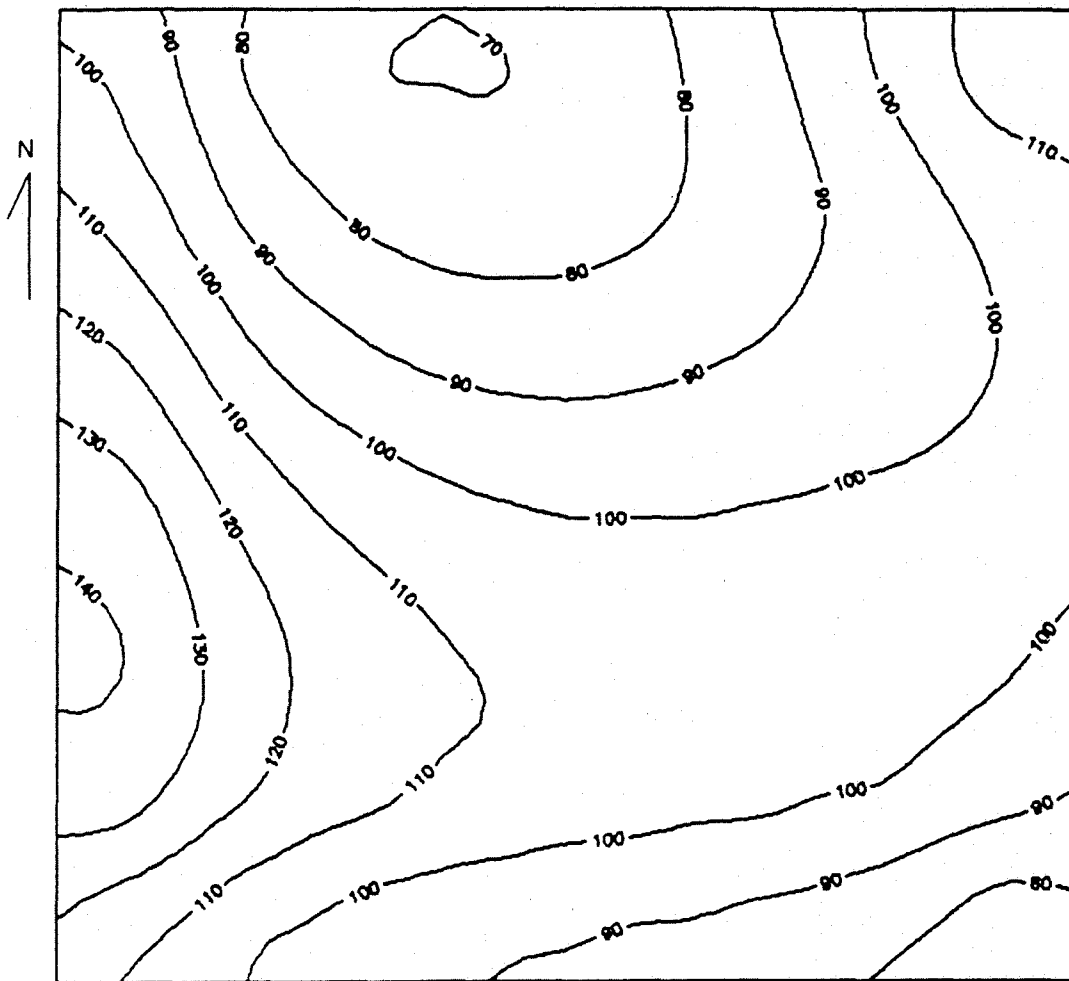
Escala : 1/250.000

Figura 4.5.9 - Superfície 1ª grau
Orientação dos lineamentos.



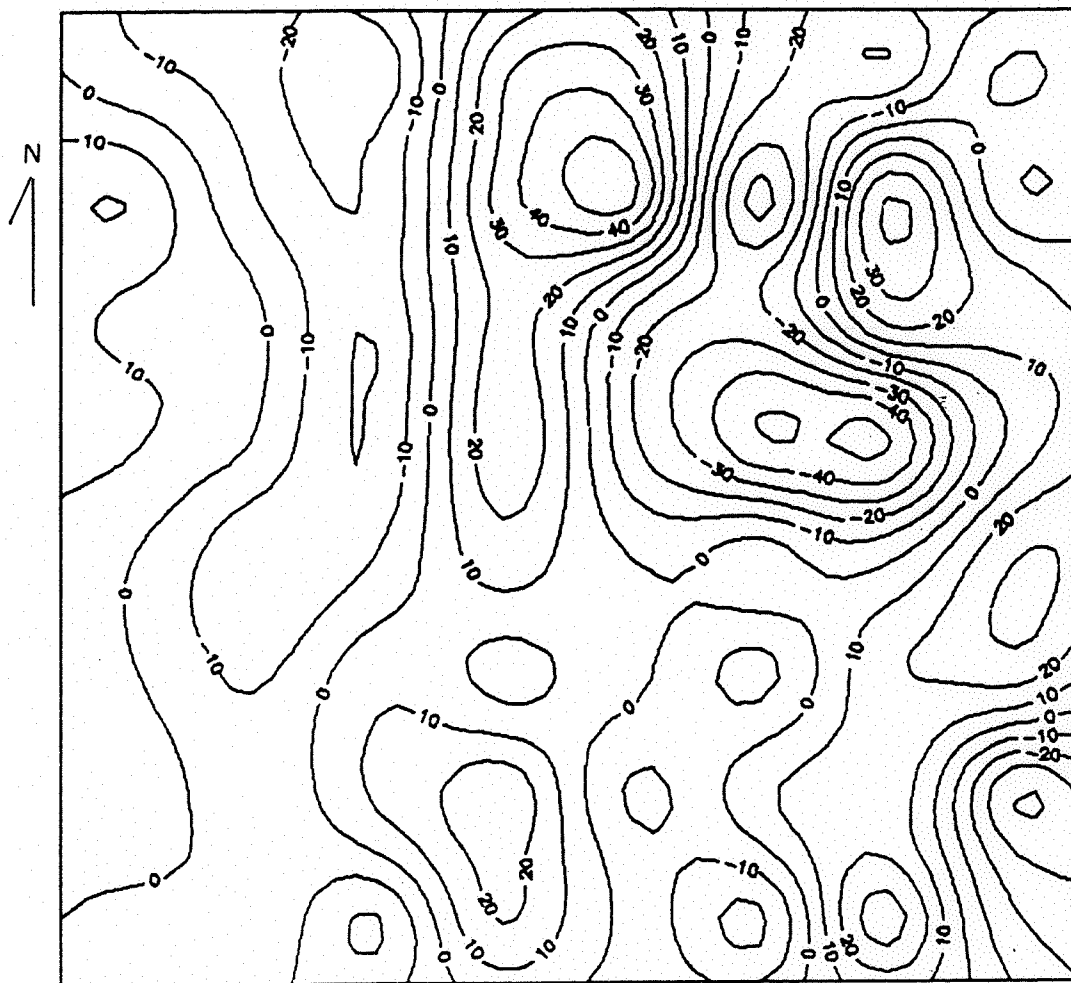
Escala : 1/250.000

Figura 4.5.10 - Superfície 2ª grau
Orientação dos lineamentos.



Escala : 1/250.000

Figura 4.5.11 - Superfície 3ª grau
Orientação dos lineamentos.



Escala : 1/250.000

Figura 4.5.12 - Resíduos superfície 3ª grau
Orientação dos lineamentos.

4.5.4 Relação entre a distribuição espacial e a orientação

Comparando-se os mapas de tendência de grau quatro da análise de distribuição espacial (figura 4.5.3) e o mapa de vetores médios resultantes da análise de orientação dos lineamentos (figura 4.5.5), observa-se que na porção centro-oeste da área onde a densidade de lineamento é baixa os azimutes pertencem ao primeiro quadrante ($<90^\circ$). Esta relação também se repete na porção do extremo noroeste. A relação inversa também se observa, ou seja, nas partes de maior densidade de lineamentos, mapeados no mapa de superfície de quarto grau, os azimutes dos vetores médios resultantes são maiores que 90° , tendo portanto a direção NW.

A partir desta análise pode-se inferir que, em termos de distribuição, os lineamentos de direção NE são de menor expressão se comparados aos de direção NW, sendo estes últimos o fator principal na caracterização da densidade de lineamentos na área pesquisada.

4.6 ANÁLISE DOS DADOS DE SUBSUPERFÍCIE

Neste item convencionou-se denominar de dados de subsuperfície as informações obtidas de poços perfurados na área.

Foi realizado um levantamento junto aos órgãos que atuam na região na área de hidrogeologia com o objetivo de catalogar poços perfurados com informações de interesse. Foram utilizados dados de 26 poços, sendo 23 nos limites da área de pesquisa e 3 na sua vizinhança.

Embora estima-se que existam algumas centenas de poços perfurados na fronteira sudoeste do estado, poucos são os documentados corretamente. Mesmos estes, em relação aos parâmetros hidráulicos mais representativos de um aquífero (vazão, transmissividade e armazenamento) revestem-se de uma incerteza muito grande. Os poços melhores documentados, como os da CORSAN e da Sudesul, destinados principalmente ao abastecimento urbano, concentram-se próximos aos centros urbanos, como a cidade de Alegrete, o que prejudica a análise total da área no tocante a distribuição espacial dos mesmos.

O problema da falta de dados hidrogeológicos no Brasil é citado por CLEARY (1989). O autor adverte que, embora os hidrogeólogos entendam hoje o papel da água subterrânea no ciclo hidrológico e seu comportamento geral em escala local, continua a carência de dados detalhados, quantitativos, sobre a disponibilidade, a quantidade, o uso e a distribuição geográfica dos recursos hídricos subterrâneos no Brasil. Em relação as agências estaduais e federais, o autor observa que a maioria não tem recursos financeiros necessários para que redes adequadas de poços de monitoramento sejam construídos, tendo

que se recorrer a dados de poços municipais e particulares, os quais deixam muito a desejar em relação as informações hidrogeológicas.

A figura 4.6.1 mostra a localização dos poços na área, bem como o órgão responsável pela sua execução. A numeração refere-se ao anexo A onde estão listados os poços e seus parâmetros. Observa-se a distribuição irregular dos poços com uma maior concentração na parte central da área, porém não há agrupamentos, assim a distribuição espacial é considerada razoável no total da área.

Dos 26 poços utilizados somente 4 atravessaram completamente o aquífero Botucatu, sendo 3 destes, agrupados na parte central (poços 14, 15 e 16). Os demais poços perfuraram a camada basáltica e alcançaram os arenitos. As profundidades variam de 43 a 220 m. O topo do arenito Botucatu, baseando-se nos dados de poços, encontra-se tanto aflorando, no sudeste, como a 154 m de profundidade, ao Norte (poço 24).

As informações hidráulicas são bastantes diversificadas e pouco confiáveis, tanto em função das variáveis técnicas empregadas na complementação dos poços, como nos diferentes tipos de testes de bombeamento. A maioria dos poços foram testados de forma incorreta, na forma de testes com caçambas, com compressor ou com tempo de bombeamento insuficiente. Os poços testados adequadamente como os da CORSAN, CPRM e SUDESUL, concentram-se principalmente na faixa central da área e próximos a cidade de Alegrete, estando ausentes no restante da área e impossibilitando a análise espacialmente distribuída.

Os valores de cotas da boca do poço, ausentes das maiorias dos cadastros, foram inferidos através do uso do SGI, ou seja, os poços foram digitalizados e sobrepostos ao plano de

informação do modelo numérico do terreno (MNT). Desta maneira obteve-se o valor da altitude para o ponto desejado. Conferiu-se o valor obtido com o uso das cartas topográficas do SGE.

De posse dos dados estruturais provenientes das perfurações foram geradas superfícies numéricas, utilizando-se o software SURFER para a interpolação dos pontos amostrais e o SGI para o armazenamento e operações matemáticas entre si. Vários algoritmos de interpolação foram testados, sendo o melhor resultado alcançado pela opção "kriging" a qual utiliza a técnica da variável regional chamada krigagem. Esta técnica estima valores de variáveis espacialmente distribuídas usando valores adjacentes e considerando a interdependência dos mesmos, expressos em um variograma (DAVIS, 1973).

Os arquivos em formato grade, de pontos geocodificados (com coordenadas geográficas definidas) foram transferidos para o sistema SGI e uniformizados em células com resolução espacial de 200 x 200 m. Este procedimento é necessário para a posterior manipulação dos planos. O SGI possibilita o armazenamento dos planos de informação de forma espacialmente interrelacionada, tornando possível a realização de operações lógicas ou matemáticas, ponto a ponto, de forma a gerar novos planos derivados. Esta ferramenta do SGI é muito útil na análise de um elevado volume de informações, principalmente quando o estudo envolve grandes áreas como nos trabalhos de hidrogeologia.

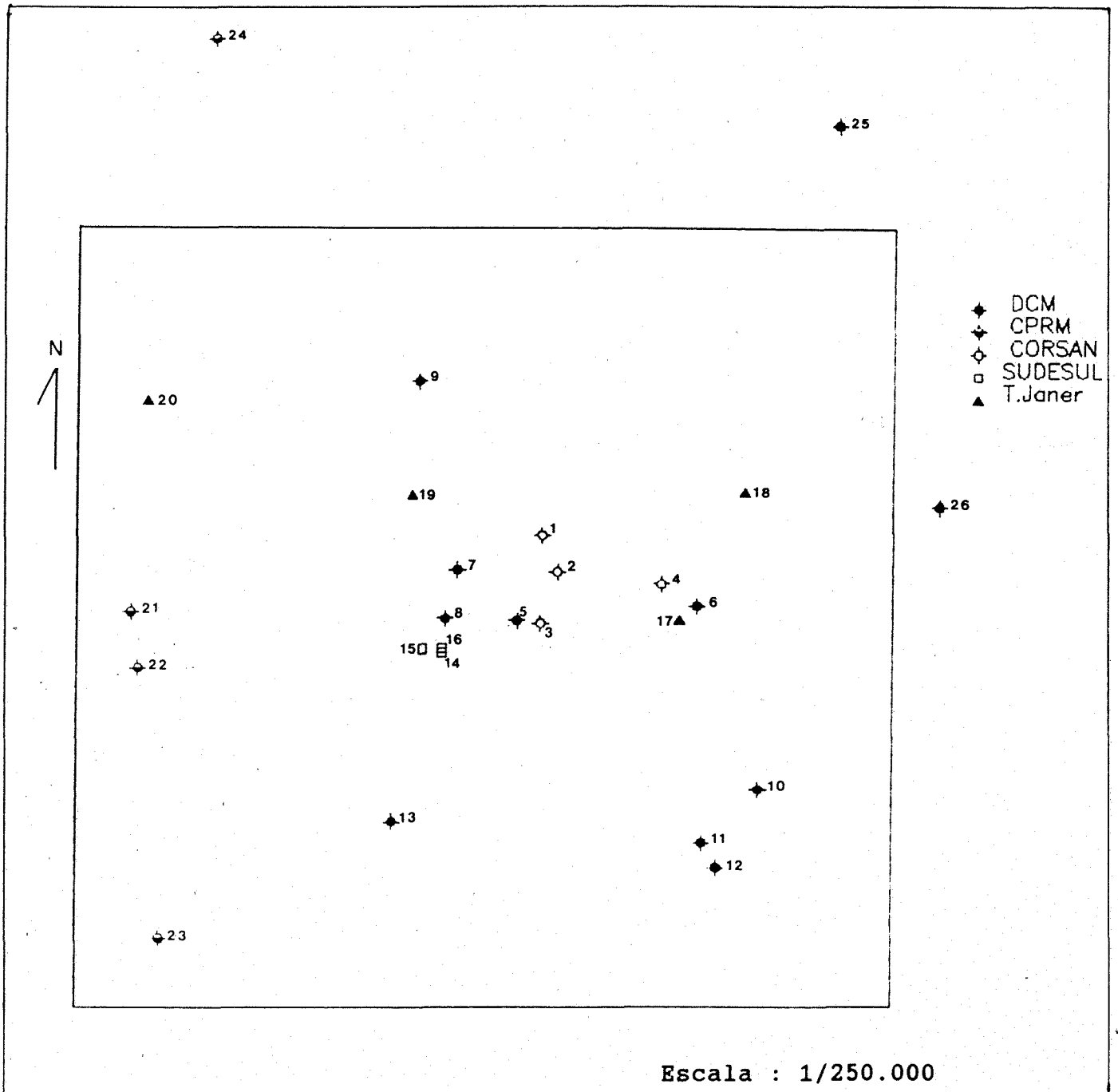


Figura 4.6.1 - Localização dos poços.

4.6.1 Topo do Arenito Botucatu

Através dos perfis dos poços perfurados, e obtida a cota da boca do poço, o contato entre a Formação Serra Geral e a Formação Botucatu foi estabelecido em termos de cotas topográficas. Estes valores foram interpolados seguindo a metodologia descrita anteriormente. A figura 4.6.2 apresenta as isolinhas que representam o topo da superfície do arenito Botucatu na área.

Pela análise desta superfície observa-se principalmente que os maiores valores de cotas encontram-se na porção Sul da área, sendo a porção Norte mais baixa com um máximo negativo na parte central próximo a cidade de Alegrete.

A figura 4.6.3 representa o blocodiagrama da superfície com uma visada lateral de sudoeste. Com esta representação é mais nítido visualizar a diferença entre as partes Norte e Sul da área com uma depressão na parte central bem delineada.

Os perfis gerados pelo SGI, também auxiliam na identificação desta característica estrutural nos quais se observa em A, B e C a concordância do ângulo de declividade da depressão que atravessa a área no sentido leste-oeste.

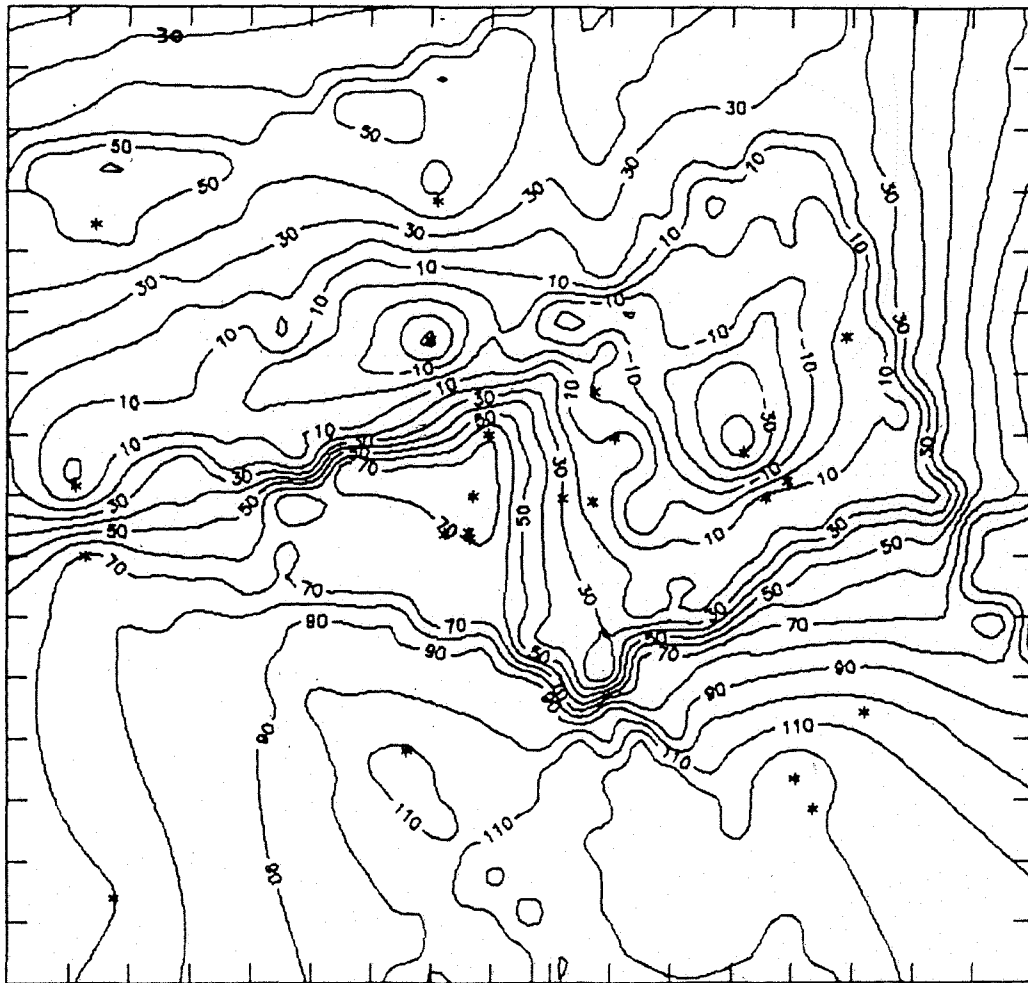
Deve-se considerar entretanto que a superfície analisada é o resultado da interpolação linear de pontos irregularmente distribuídos o que pode levar a resultados diferentes da realidade, principalmente em regiões onde haja um grande espaçamento entre eles. Por exemplo, planos de falhas são suavizados no processo de interpolação. Na área de pesquisa a superfície apresenta duas discordâncias, uma na parte central e outra no centro-sul. Estas são porções da área que apresentam

uma boa distribuição espacial dos pontos amostrais, o que aumenta o grau de confiabilidade das feições observadas.

De um modo geral pode-se concluir pela análise da superfície, que existe uma diferenciação, entre a porção Sul e Norte, levando-se a inferir um deslocamento de blocos associado a existência de falhamento, com um bloco abatido ao Norte e um bloco soerguido ao Sul, com um plano de falha descontínua na parte central. Este plano pode ser composto por uma componente de direção NW e outra de direção NE como pode se inferir da análise da figura 4.6.2.

Esta inferência também se correlaciona com a análise dos lineamentos (figura 4.5.3), onde observou-se uma diferença na distribuição espacial, com a orientação dos lineamentos diferencial entre as partes Sul e Norte, e com o lineamento de médio porte detectado nas imagens de satélite que atravessa a área na parte central e discutido na análise de drenagem.

A convergência destes planos de informação, bem como o MNT (figura 4.3.1) da área e a superfície do topo do arenito, vem reforçar esta interpretação, havendo portanto uma concordância das informações de superfície e subsuperfície quanto ao tectonismo sofrido pela área.



Escala : 1/250.000

Legenda:

- * poços
- 10— cotas topográficas

Figura 4.6.2 - Topo do arenito Botucatu.

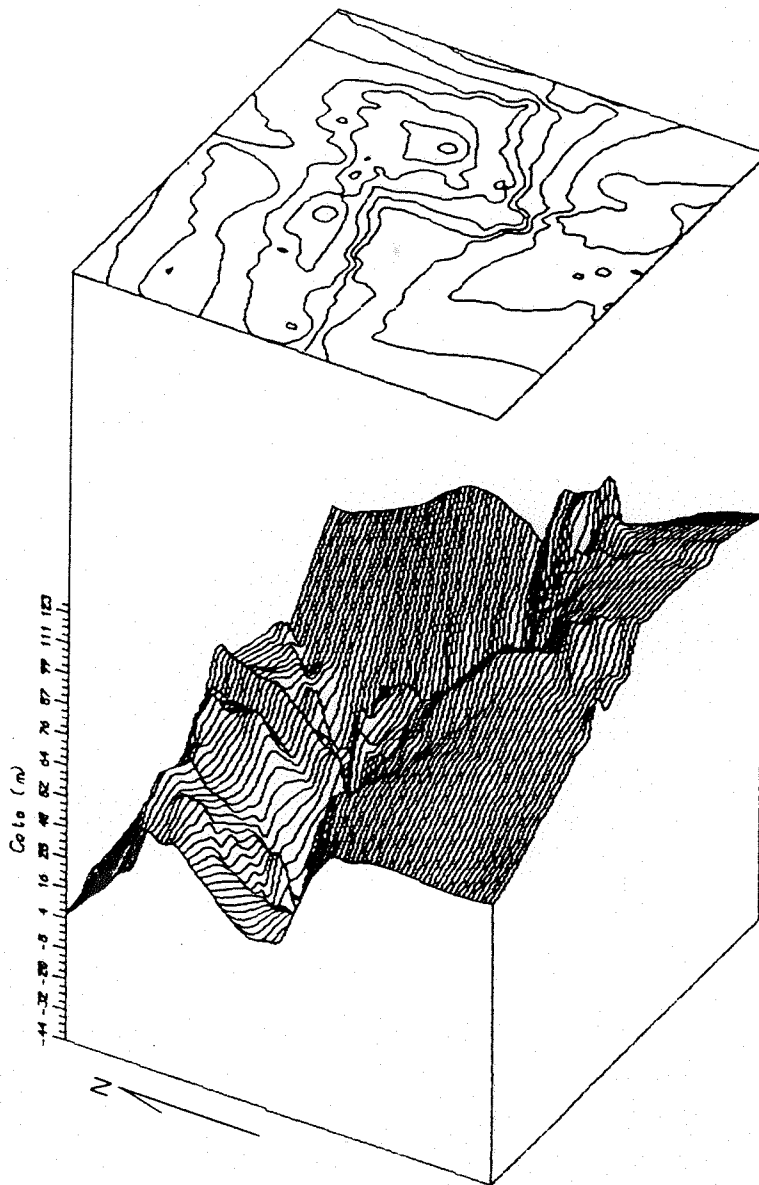


Figura 4.6.3 - Topo do arenito : blocodiagrama.

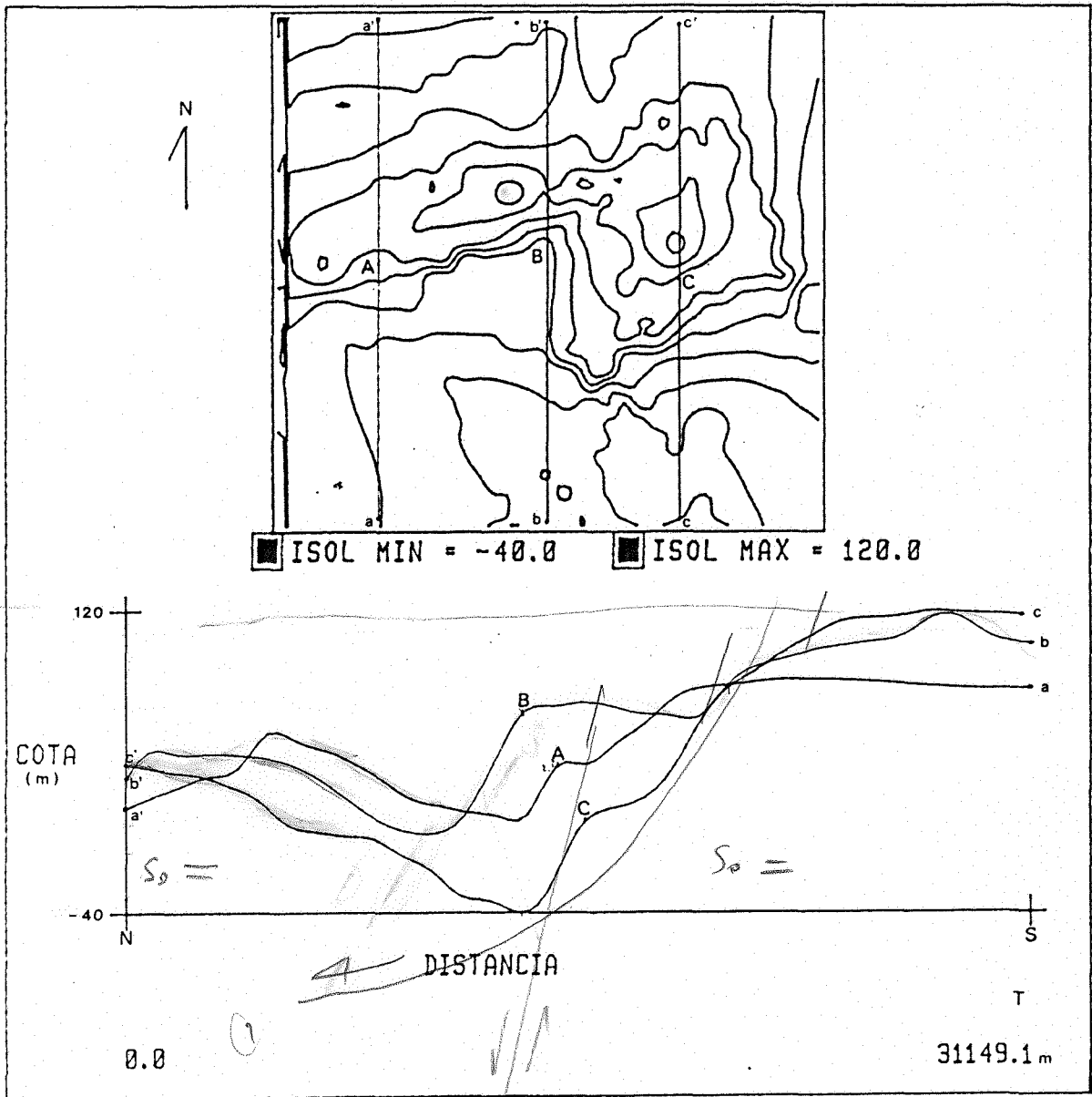


Figura 4.6.4 - Topo do arenito : perfis.

4.6.2 Espessura do basalto

De posse do MNT da área, que é o plano de informação que armazena os dados de caráter superficial, e da subsuperfície do topo do arenito Botucatu armazenada no plano de informação descrito no item anterior, gerou-se, por um processo de manipulação matemática, o plano denominado de espessura do basalto. Para tanto as duas superfícies foram uniformizadas em grades de 200 x 200 m e através do sistema SGI subtraiu-se o plano superficial do plano de subsuperfície.

Considerou-se como espessura do basalto o sistema aquífero Serra Geral, englobando-se a litologia que vai da superfície até o contato das rochas basálticas da Formação Serra Geral com o arenito da Formação Botucatu, incluindo-se portanto os arenitos intertrápicos e o manto de alteração. Do ponto de vista da captação da água subterrânea esta é a coluna estratigráfica perfurada para a captação de água no aquífero Botucatu sotoposto.

A figura 4.6.5 é a superfície resultante fatiada em intervalos de 30 m. As maiores espessuras estão ao centro-norte, principalmente nas proximidades da cidade de Alegrete, onde poços da CORSAN registraram valores de profundidade do arenito na ordem de 120 m. Observa-se também na parte sudeste da área a pouca espessura do basalto, com valores iguais a zero que refletem os afloramentos do arenito. Estes afloramentos foram confirmados pela análise de fotos aéreas e de mapas geológicos da região. Eles porém não possuem um caráter uniforme, como mostra a figura 4.6.5, para o intervalo de classe igual a zero, e sim afloramentos irregulares com a presença de camadas basálticas delgadas. A extensão deste intervalo de classe deve-se principalmente ao processo de

interpolação entre os pontos amostrais na geração da superfície do topo do arenito, ou seja, os poços 11, 12 perfurados diretamente no arenito e o poço 13 perfurado no basalto

Na análise anterior do topo do arenito Botucatu constatou-se a existência de um comportamento estruturalmente diferenciado na área entre as partes Sul e Norte com um plano de deslocamento na parte central. Analisando o mapa de espessuras observa-se um comportamento semelhante, com o que pode se inferir que a parte Norte é um bloco estruturalmente baixo apresentando uma espessa camada dos basaltos da Formação Serra Geral, em contrapartida a parte Sul apresenta um bloco soerguido com uma menor espessura basáltica, erodida com afloramentos da Formação Botucatu, em consequência da situação estrutural mencionada.

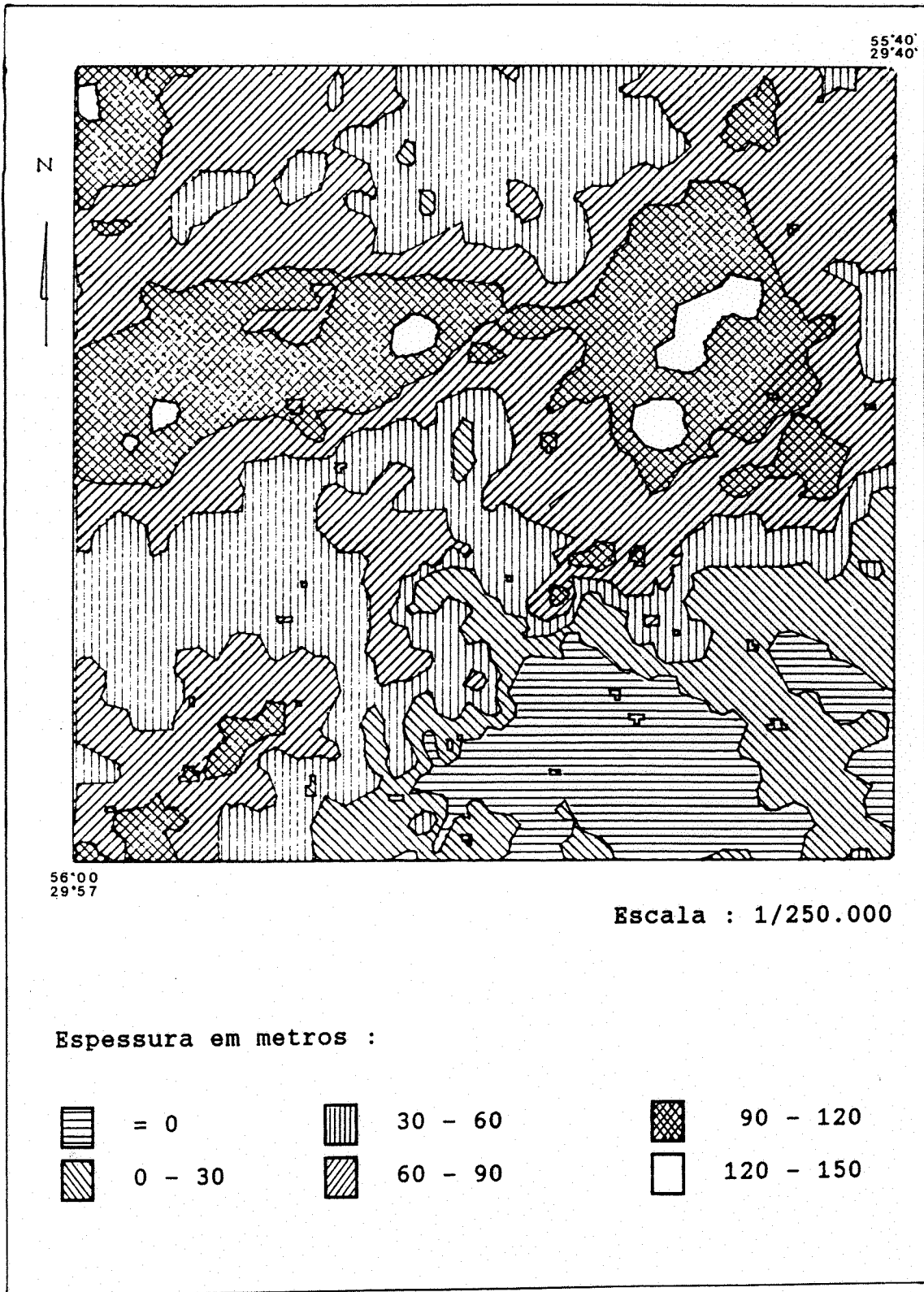


Figura 4.6.5 - Espessura da Formação Serra Geral.

4.6.3 Artesianismo

Considerou-se como artesianismo, para a geração desta superfície, a diferença dos níveis piezométricos registrados nos poços e a superfície do topo do arenito. Este parâmetro reflete a ação da pressão confinante sobre o aquífero Botucatu.

Os dados de níveis estáticos dos poços perfurados na área foram armazenados no SGI como um plano de informação e posteriormente gerada uma superfície em formato grade. De posse deste plano efetuou-se, como no item anterior, a operação de subtração entre os planos contendo os níveis piezométricos e o topo da arenito.

A figura 4.6.6 apresenta a superfície resultante fatiada em intervalo de 30 m. As diferenças, ou seja, a pressão confinante expressa em coluna d'água, variam de aproximadamente 150 m a valores negativos que representam a não existência de confinamento do aquífero.

As porções que apresentam os maiores valores estão no centro-norte da área e estão diretamente relacionadas com a espessura do basalto, condicionada pela tectônica de falhamento definida nos PIs anteriormente descritos, e que representa a camada confinante, como pode-se observar na figura 4.6.5.

A porção Sul apresenta valores baixos, reflexo da menor espessura do basalto. O extremo sudeste que aparece na figura 4.6.6 com valores negativos, ou seja, com o comportamento de um aquífero freático, deve ser analisada com alguma reserva. Os valores dos níveis estáticos dos poços 11 e 12, valores negativos devido a locação dos mesmos em afloramentos do arenito, são bastante significativos. Estes valores no processo

de interpolação, em uma área onde existe uma má distribuição de pontos amostrais, induzem a resultados que podem extrapolar seu grau de abrangência.

De um modo geral a análise deste produto permite observar, como foi destacado nas análises anteriores, o comportamento diferencial entre as regiões Sul e Norte, com esta última apresentando os maiores valores de pressão confinante. Estes valores possuem uma estreita correlação com a espessura do basalto o que vem a reforçar a análise estrutural feita até agora.

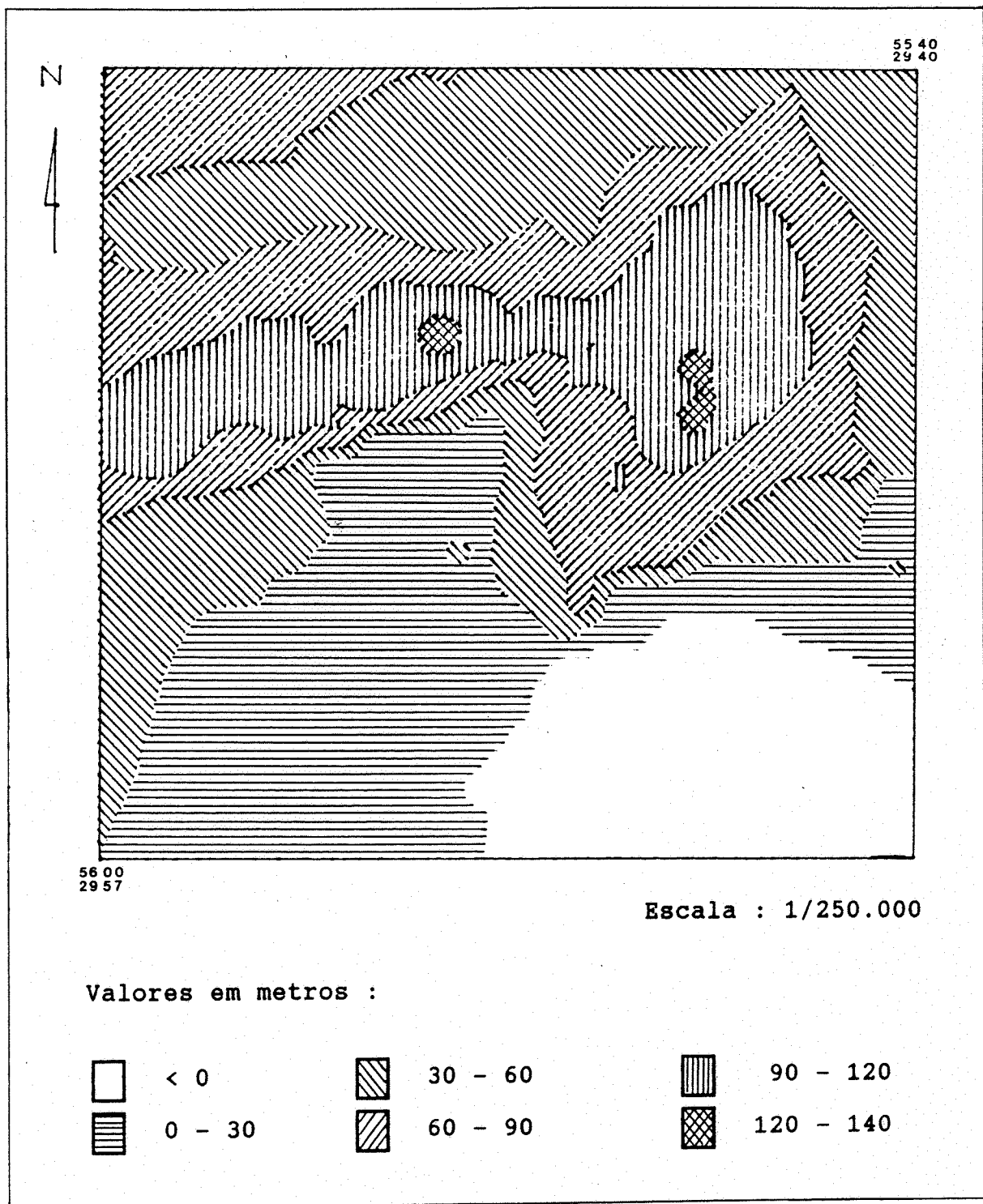


Figura 4.6.6 - Artesianismo do aquífero Botucatu.

4.7 MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os dados estruturais provenientes das análises anteriores de subsuperfície serviram de base para a aplicação de um modelo matemático, de fluxo estacionário bidimensional, no aquífero Botucatu. Para tanto foi utilizado o modelo Flowpath versão 2.0 da Waterloo Hydrogeologic Software distribuído pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS.

O aquífero foi considerado como um aquífero confinado em toda sua extensão, com recarga horizontal no sentido leste-oeste.

Através de informações sobre o uso da água para a irrigação e abastecimento público simulou-se cenários de aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos.

4.7.1 Generalidades

Segundo CLEARY (1989), o planejamento e o gerenciamento dos recursos de água subterrânea dependem da habilidade em quantificarem-se os fenômenos de fluxo e de transportes em sistemas aquíferos. Esta quantificação pode ser feita de várias maneiras, entre elas as medidas de campo e a modelação matemática. A primeira, mais direta e usual, apresenta maior acuracidade, porém a sua aplicabilidade está condicionada à plena execução do projeto e ao elevado custo dispendido. Já a modelação matemática é atualmente a abordagem mais utilizada internacionalmente tornando-se uma escolha natural como ferramenta de avaliação.

Entre as várias razões para a aplicação de modelos matemáticos pode-se incluir a investigação de alternativas de locação de poços para usos múltiplos, previsão e conhecimento de fenômenos de fluxo e transporte em sistemas de aquíferos e a otimização do gerenciamento dos recursos hídricos de uma região.

Os modelos alargam nossa informação mas não produzem porém números inquestionáveis. Um modelo é uma representação artificial de uma realidade física, que tenta representar uma versão simplificada do que é frequentemente um sistema complexo. Portanto seus resultados são imperfeitos devendo-se ter critérios no uso dos valores obtidos bem como a possibilidade de se coletar dados de campo para a posterior verificação.

4.7.1.1 Equações de fluxo

A equação conhecida como a equação fundamental do fluxo de água subterrânea é obtida aplicando-se o princípio de conservação de massa e a lei de Darcy a um volume elementar representativo. É uma equação a derivada parcial tridimensional, heterogênea, anisotrópica, de estado não estacionário que possui a seguinte forma :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right] \pm Q(x, y, z, t) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4.9)$$

onde h é a carga total; K_{xx} , K_{yy} e K_{zz} são as componentes principais do tensor da condutividade hidráulica; S_s é o

coeficiente de armazenamento específico e Q representa fontes ou sumidouros de água dentro do aquífero, sendo positivo se a água é adicionada e negativo se é retirada.

As dimensões dos aquíferos são da ordem de dezenas de quilômetros, enquanto suas espessuras são da ordem de dezenas de metros. Portanto, nestes casos, os aquíferos exibem condições de fluxo horizontal através da maior parte de sua extensão e pode-se considerar que as variações de carga ao longo da dimensão vertical são desprezíveis se comparadas a mudança em carga ao longo da dimensão horizontal. Neste caso a carga pode ser modelada como uma equação bidimensional em x e y .

A equação bidimensional de fluxo é obtida através da integração da equação tridimensional sobre a dimensão vertical z , com a qual se obtém :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right] \pm Q(x, y, t) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4.10)$$

que é a equação bidimensional, de estado não estacionário, anisotrópica e heterogênea. Nesta equação são definidos três novos parâmetros :

$$T_{xx} = K_{xx} b \quad T_{yy} = K_{yy} b \quad S = S_s b$$

T_{xx} e T_{yy} com dimensões $[L^2/T]$ são chamados de transmissividades nas direções principais x , y ; S é chamado de coeficiente de armazenamento e é adimensional; b é a espessura do aquífero para o caso de aquíferos confinados ou a espessura da camada saturada para os aquíferos não confinados.

Para se obter condições de estado estacionário deve-se eliminar a derivada da carga em relação ao tempo. A equação neste caso torna-se :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right] \pm Q(x,y) = 0 \quad (4.11)$$

4.7.1.2 Condições de contorno

As condições de contorno em um modelo horizontal podem ser, no mínimo, de três tipos :

- Tipo 1 (Condição de Dirichlet) : a carga hidráulica é especificada. Por exemplo, se o aquífero tem conexão com um lago ou rio, nestes pontos de conexão a carga hidráulica é conhecida.

- Tipo 2 (Condição de Neumann) : o fluxo é especificado, podendo ser nulo ou não. É considerado nulo em um contorno impermeável e não nulo quando tem-se condições de avaliar o fluxo, definido como uma taxa volumétrica por unidade de área ($m^3/m^2/dia$ por exemplo).

- Tipo 3 (Condição Mista) : ocorrem em contorno semi-permeável e se obtém uma expressão que é função linear da carga hidráulica e do fluxo.

4.7.1.3 Resolução por diferenças finitas

Entre os métodos numéricos para se resolver equações

diferenciais o método de diferenças finitas é um dos mais utilizados entre os modelos de água subterrânea.

Neste método a região é aproximada por uma malha espaçada de nós. Os espaçamentos podem ser constantes ou podem variar de um eixo para outro. Em cada nó a derivada da expressão matemática é aproximada por uma expressão algébrica com referência aos nós adjacentes. As parciais diferenciais ∂x e ∂y são aproximados a comprimentos finitos Δx e Δy . Assim o aquífero é discretizado em um número de blocos com lados de comprimento Δx , Δy e de espessura b . Desta forma a equação do fluxo toma a forma de um balanço de massa formulada para um conjunto de volumes finitos do aquífero.

A expressão algébrica utilizada para representar a variação em cada eixo pode ser do tipo diferença progressiva, isto é, a derivada é calculada usando o ponto em estudo e um ponto à frente, diferença regressiva, que utiliza o ponto anterior e, diferença central, que utiliza um ponto na metade do intervalo à frente e outro na metade do intervalo atrás.

4.7.1.4 Modelo de fluxo bidimensional utilizado

O modelo utilizado é um modelo desenvolvido pela Waterloo Hydrogeologic Software denominado Flowpath versão 2.0 (FRANZ e GUIGUER, 1990).

Consiste em um modelo de fluxo horizontal, bidimensional, em condições de estado estacionário que emprega o método de diferenças finitas para a resolução da equação do fluxo bidimensional (equação 4.11).

O modelo usa o esquema de diferenças finitas centrados em blocos no qual os nós são situados no centro de cada bloco. Este esquema tende a ser mais conveniente para condições de contorno do segundo tipo, em que o fluxo é especificado (CLEARY, 1989). As propriedades do aquífero (condutividade hidráulica, porosidade, espessura do aquífero, etc.) são definidas para cada bloco e podem variar de bloco para bloco. A figura 4.7.1 mostra a representação de um bloco correspondente ao nó i,j .

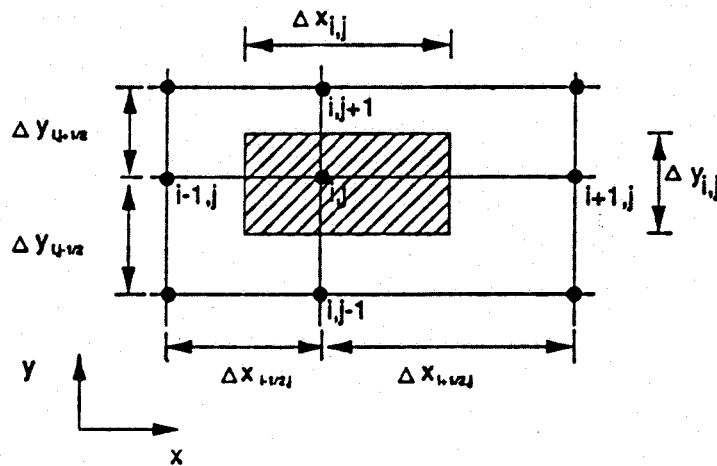


Figura 4.7.1 - Definição das dimensões do bloco

A equação 4.11 é rescrita, considerando-se um aquífero confinado, na forma :

$$\frac{1}{\Delta x_{i,j}} \left\{ \left[\frac{T_{xx_{i+1/2,j}} (h_{i+1,j} - h_{i,j})}{\Delta x_{i+1/2,j}} \right] - \left[\frac{T_{xx_{i-1/2,j}} (h_{i,j} - h_{i-1,j})}{\Delta x_{i-1/2,j}} \right] \right\} +$$

$$\frac{1}{\Delta y_{i,j}} \left\{ \left[\frac{T_{yy_{i,j+1/2}} (h_{i,j+1} - h_{i,j})}{\Delta y_{i,j+1/2}} \right] - \left[\frac{T_{yy_{i,j-1/2}} (h_{i,j} - h_{i,j-1})}{\Delta y_{i,j-1/2}} \right] \right\} = Q_{i,j}$$

(4.12)

onde :

$T_{xx_{i-1/2,j}}$, $T_{xx_{i+1/2,j}}$ = transmissividades do aquífero entre os nós $(i,j ; i-1,j)$ e $(i,j ; i+1,j)$ respectivamente. Estes valores representam a média harmônica entre a transmissividades dos blocos definidos por estes nós.

$$T_{xx_{i,j}} = K_{xx_{i,j}} b_{i,j}$$

$b_{i,j}$ = espessura do aquífero do bloco i,j .

$K_{xx_{i,j}}$ = condutividade hidráulica do bloco i,j na direção x .

$T_{yy_{i,j-1/2}}$, $T_{yy_{i,j+1/2}}$ = transmissividade do aquífero entre os nós $(i,j ; i,j-1)$ e $(i,j ; i,j+1)$ respectivamente. Estes valores representam a média harmônica entre a transmissividade dos blocos definidos por estes nós.

$$T_{yy_{i,j}} = K_{yy_{i,j}} b_{i,j}$$

$K_{yy_{i,j}}$ = condutividade hidráulica do bloco i,j na direção y .

$\Delta x_{i,j}$ = comprimento do bloco i,j na direção x .

$\Delta x_{i-1/2,j}$, $\Delta x_{i+1/2,j}$ = distância entre os nós $(i,j ; i-1,j)$ e $(i,j ; i+1,j)$ respectivamente.

$\Delta y_{i,j}$ = comprimento do bloco i,j na direção y .

$\Delta y_{i,j-1/2}$, $\Delta y_{i,j+1/2}$ = distância entre os nós $(i,j ; i,j-1)$ e $(i,j ; i,j+1)$ respectivamente.

$h_{i,j}$ = carga hidráulica no nó i,j .

$Q_{i,j}$ = fluxo volumétrico de saída (-) ou entrada (+) por unidade de área de superfície no nó i,j . Este termo pode representar poços de bombeamento ou injeção, evapotranspiração, infiltração e percolação da superfície ou aquíferos sobre ou sotopostos. Para poços de bombeamento ou injeção o modelo automaticamente divide a taxa de fluxo total pela área do bloco $\Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j}$ para obter o fluxo no nó i,j .

As condições de contorno são especificadas no centro de cada bloco. Podem ser definidas três tipos de condições : carga constante, limite impermeável e fronteira de fluxo constante. Esta última constitui-se como um fluxo por unidade de comprimento do contorno por unidade de espessura do aquífero. No modelo esta taxa de fluxo q é multiplicada pelo comprimento do bloco (espaço médio entre dois nós sucessivos), pela espessura total do aquífero e posteriormente adicionada ao termo $Q_{i,j}$ na equação 4.11.

O método de resolução numérica utilizada pelo modelo Flowpath é o método implícito de direção alternada (IADI). Este método é um dos mais populares métodos de resolução de equações discretizadas iterativamente. É um método incondicionalmente estável (KINZELBACH, 1986) e a capacidade de memória computacional requerida é pequena. O comportamento da solução interativa é controlado por um critério de convergência. Este critério assume que a convergência é atingida se, para cada nó, a diferença entre o último valor calculado e o valor obtido na interação anterior sobre a máxima diferença de carga hidráulica é menor que 0,05% , ou seja :

$$\left[\frac{h_{i,j}^{\text{novo}} - h_{i,j}^{\text{anterior}}}{h_{\text{max}} - h_{\text{min}}} \right] \leq 0,0005 \quad (4.13)$$

O valor de 0,05% assim como o número de interações podem ser modificados, sendo entretanto recomendado usar o máximo de precisão com a utilização de um número máximo de interações e um pequeno valor de convergência. Os valores adotado para esses parâmetros no presente trabalho foram de 0,05 % e 200 para o índice de convergência e número máximo de interações respectivamente.

4.7.2 Modelo de fluxo do aquífero

A insuficiência de dados hidrodinâmicos e estruturais, principalmente no que se refere a informações da base do aquífero, acarretou na necessidade de simplificação dos parâmetros utilizados na entrada do modelo.

Para a aplicação do modelo foram necessários dados de condutividade hidráulica, porosidade, definição de fronteiras, espessura do aquífero e taxas de recarga. O aquífero foi considerado por simplificação como um meio poroso, homogêneo e isotrópico.

O valor de condutividade hidráulica foi extrapolado para toda a área a partir dos dados existentes em três poços (14, 15, 16) localizados na parte central. Os valores apresentam uma faixa de variação entre 0,125 m/h a 0,249 m/h sendo adotado o valor médio de 0,14 m/h ou 3,4 m/dia.

A porosidade foi obtida em valores tabelados na literatura hidrogeológica. Foi adotado o valor de porosidade igual a 0,34 para o material sedimentar arenítico (McWHORTER e SUNADA, 1985).

Foi estabelecida uma grade com espaçamento de 1.000 m com 35 colunas e 33 linhas nos limites da área de pesquisa. A grade foi estendida por mais 4 km nos extremos, no sentido leste-oeste, visando a especificação das condições de contorno. No total a grade é composta por 43 colunas e 33 linhas, o que representa um número de 1419 nós ou blocos.

As fronteiras foram definidas obedecendo os seguintes critérios :

- A não existência de fluxo nas fronteiras Norte e Sul,

supondo que o fluxo ocorra preferencialmente no sentido leste-oeste, como o fluxo regional. Portanto, estas fronteiras foram especificadas como limites impermeáveis.

- Na fronteira Leste, bem como na Oeste, estabeleceu-se uma fronteira do tipo carga constante. Os valores adotados basearam-se nos níveis piezométricos registrados nos poços e apresentados na figura 4.7.3. Estes valores devem ser observados com ressalvas, já que eles foram obtidos em tempos diversos, sujeitos a variação temporal e portanto não refletindo o estado inicial do aquífero. Porém, não apresentam grandes variações em termos de cotas e servem como um indicativo do comportamento do meio.

Logo, nas fronteiras Leste e Oeste os valores de carga constantes utilizados variaram entre as cotas 95 e 105 e foram dispostos de acordo com as isolinhas dos níveis piezométricos (figura 4.7.3) que se localizam próximas aos limites da área.

A figura 4.7.2 representa as condições de contorno utilizadas na modelagem.

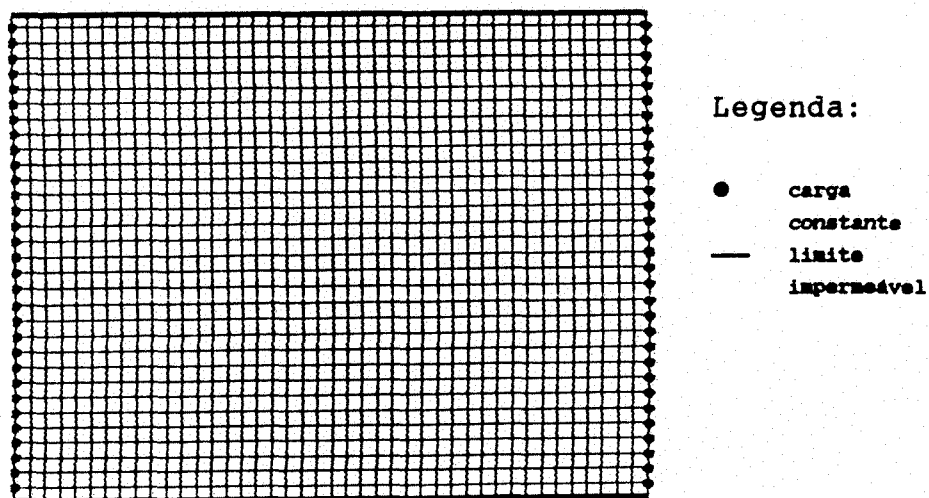
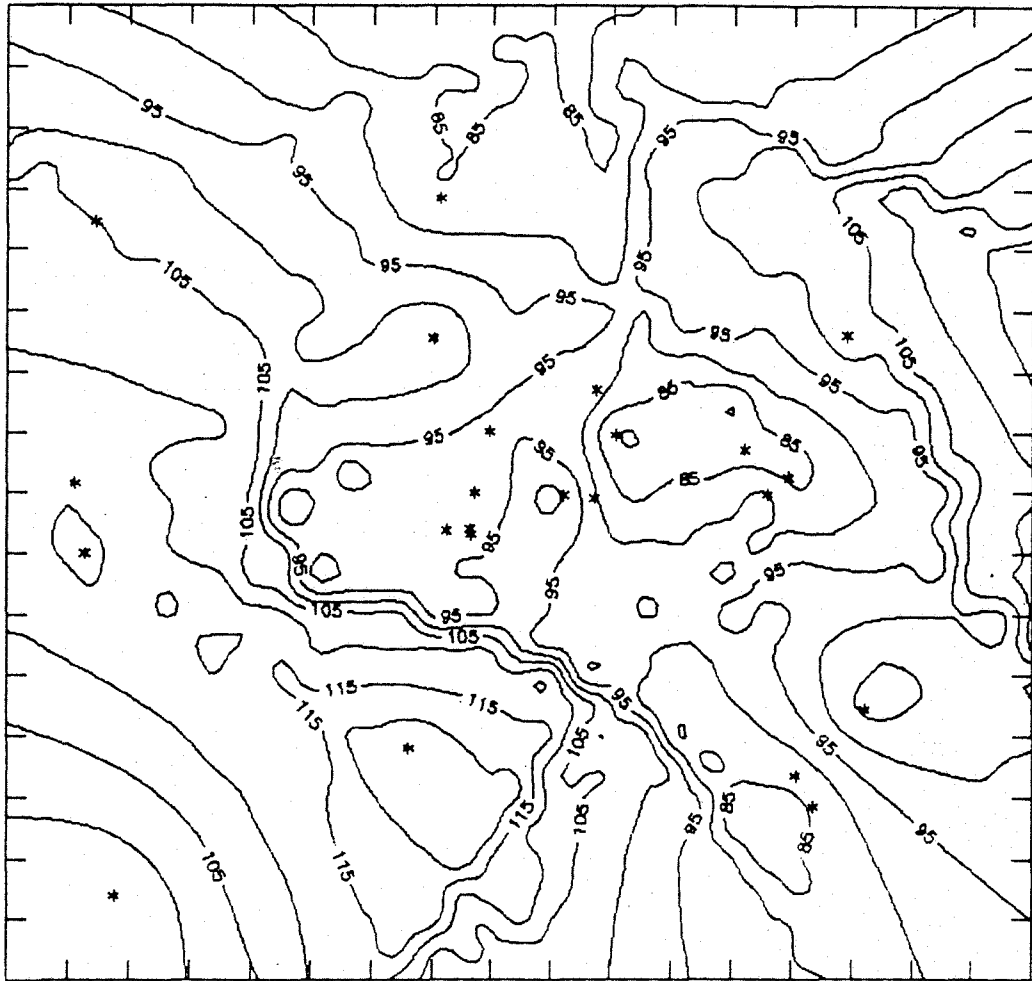


Figura 4.7.2 - Condições de contorno



Escala : 1/250.000

Legenda:

- * poços
- 85— cotas topográficas

Figura 4.7.3 - Níveis piezométricos.

Os dados referentes a espessura do aquífero foram obtidos através de uma simplificação do comportamento estrutural da base do aquífero Botucatu. Com a falta de dados de campo sobre o contato entre o arenito Botucatu e a sua base deposicional, a Formação Rosário, foi necessário inferir uma superfície baseada em critérios definidos nas análises anteriores da presente pesquisa.

Apenas quatro poços atravessaram completamente o aquífero, sendo que três deles encontram-se agrupados (poços 14, 15, 16-anexo A) na parte central e um localizado a sudoeste da área (poço 23). Com os valores de cota do contato definidos através do perfil destes poços foi possível estimar um valor para a declividade da base do aquífero. Supondo-se, através do comportamento regional da Formação Botucatu que ocorra na área um mergulho no sentido leste-oeste. Estabeleceu-se uma declividade de 0,3% da base deposicional do aquífero na área de pesquisa.

A análise da superfície do topo do aquífero, gerada anteriormente, mostrou haver uma descontinuidade estrutural entre a região Sul e Norte da área com um bloco alto na primeira e um bloco baixo na segunda. Baseado nesta análise, supôs-se que esta descontinuidade estenda-se aos pacotes sotopostos ao arenito. A superfície que representa a base do arenito foi então dividida em duas porções seguindo o comportamento verificado no topo, com um rejeito na ordem de 100 m. O plano de deslocamento adotado concorda com o observado na superfície do topo do arenito o qual corta a área no sentido leste-oeste. As figuras 4.7.4 e 4.7.5 representam respectivamente o blocodiagrama e as isolinhas da superfície resultante. Esta superfície foi armazenado em formato raster no SGI para posterior manipulação.

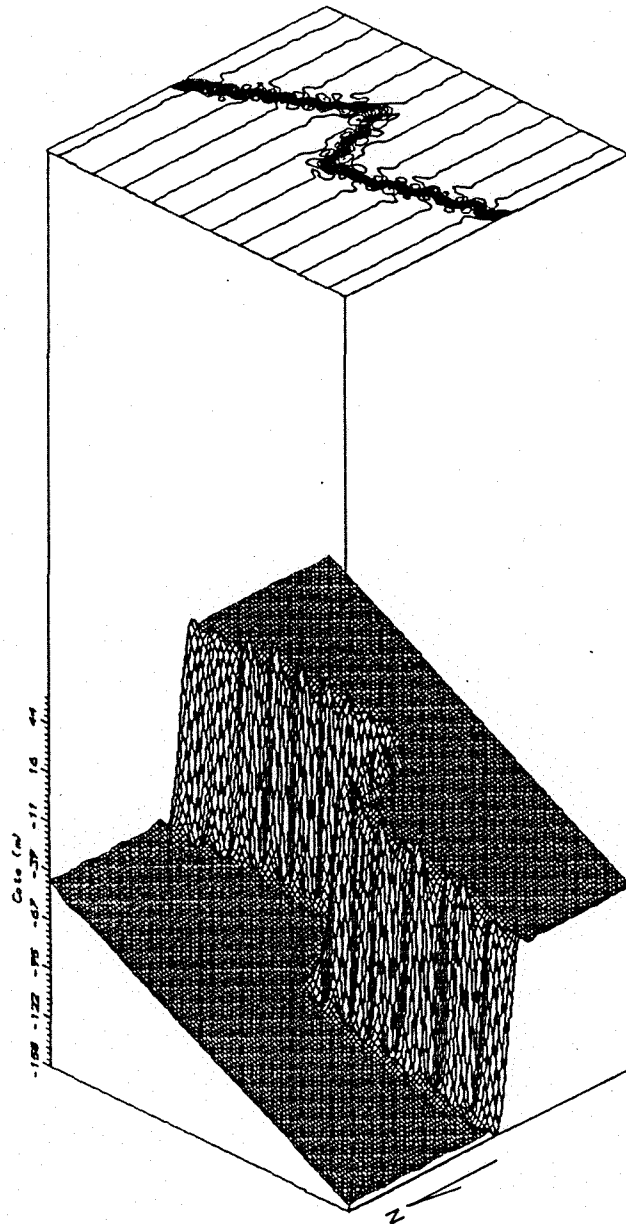
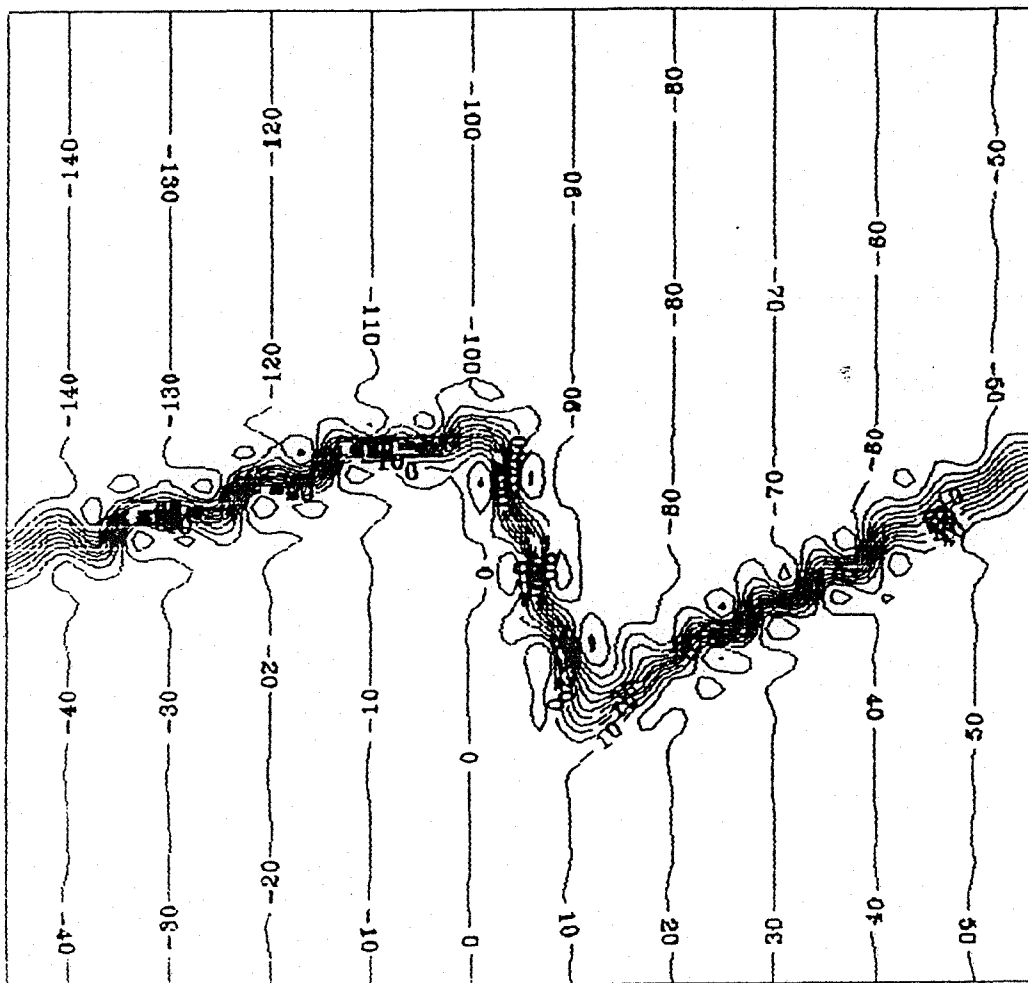


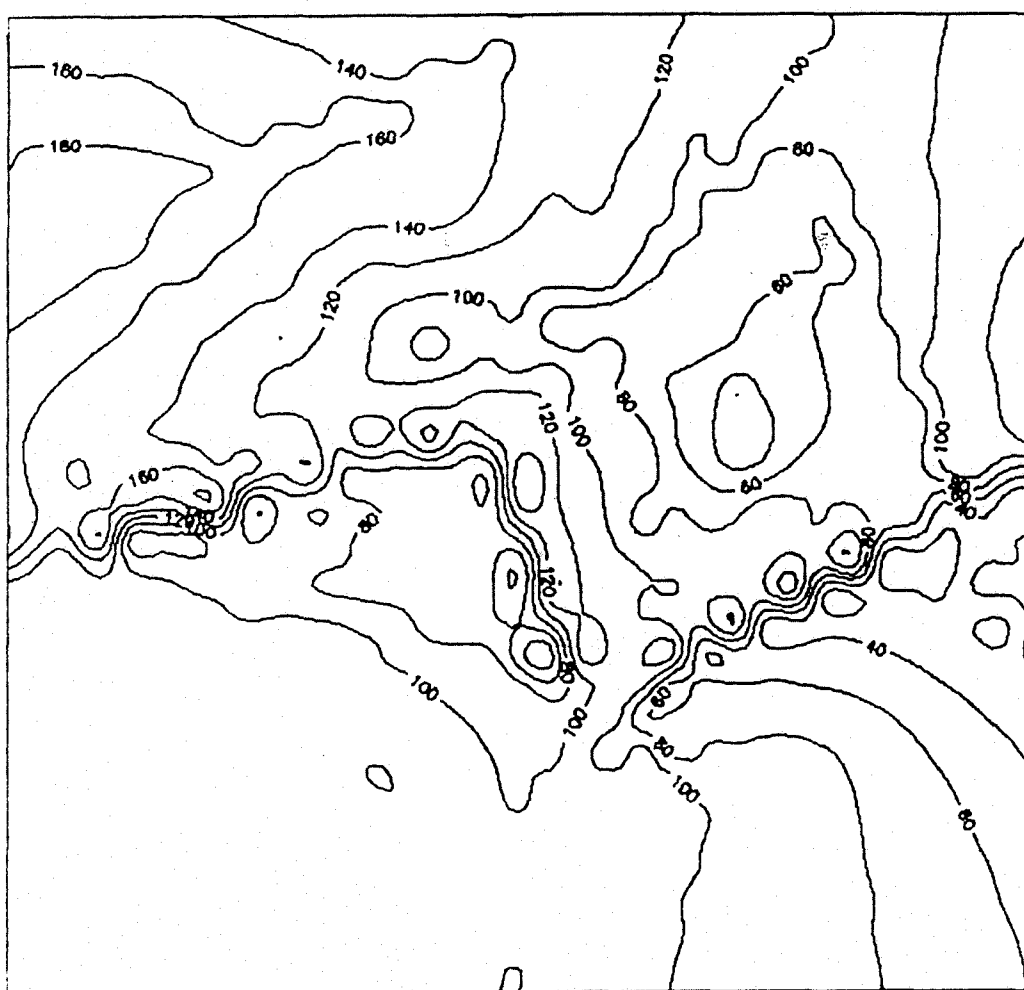
Figura 4.7.4 - Blocodiagrama simulando a base do aquífero.



Escala: 1/250.000

Figura 4.7.5 - Cotas da base do aquífero Botucatu.

Com as superfícies do topo e da base disponíveis como planos de informação no SGI foi possível gerar-se, através da operação de subtração de grades, a superfície que representa a espessura do aquífero (figura 4.7.6). Ela apresenta um aumento da espessura no sentido de Leste para Oeste, com valor médio na ordem de 100 m. Deste modo, para cada bloco centrado em um nó da grade do modelo foi atribuído um valor de espessura correspondente.



Escala: 1/250.000

Figura 4.7.6 - Espessura simulada do aquífero Botucatu.

4.7.3 Simulação de cenários

Após a definição dos parâmetros iniciais, o modelo foi executado para algumas situações simuladas, buscando exemplificar o uso desta ferramenta computacional.

A figura 4.7.7, na página seguinte, mostra a superfície piezométrica gerada pelo modelo para o fluxo natural, sem ações antrópicas, considerando as condições de contorno previamente estabelecidas. Os valores estão referenciados a cotas topográficas e são da ordem de grandeza dos níveis piezométricos registrados nos poços e mostrados na figura 4.7.3.

Deve-se considerar entretanto que o modelo de fluxo utilizado é um modelo de fluxo estacionário, ou seja, não considera o fator tempo de bombeamento como os modelos de fluxo não permanentes. Portanto os rebaixamentos dos níveis piezométricos apresentados a seguir são valores que representam o estado de equilíbrio, em fluxo de regime permanente, segundo o critério de convergência definido no item 4.7.1.4. Com isso, as descargas aqui simuladas são constantes.

Esta simulação em regime permanente é adequada para casos como o abastecimento público, onde é necessário suprir uma demanda constantemente. Porém para casos como a irrigação, onde há variação cíclica, os modelos de estado estacionário não permitem simular a variabilidade temporal. Logo, os valores das simulações feitas neste trabalho representam valores extremos de rebaixamento, já que não se consideram os períodos de recarga.

A seguir são propostos alguns cenários de utilização da água subterrânea :

- Cenário 1 :

A cidade de Alegrete é abastecida por poços da CORSAN (Cia. Riograndense de Saneamento e Abastecimento). Utilizando dados de janeiro de 1993 (Fonte: CORSAN) onde 8 poços registraram uma descarga de 200.000 m³/mês ou 6.667 m³/dia, que é a unidade utilizada pelo modelo. Foi simulado no modelo um bombeamento com o mesmo valor, no nó correspondente as coordenadas da cidade. Observa-se na figura 4.7.8 que os rebaixamentos resultantes são pequenos e se aproximam aos valores dos níveis piezométricos registrados nos poços locados na área urbana (figura 4.7.3). No local o topo do aquífero atinge cotas de -30 m.

- Cenário 2 :

Supondo que o consumo na cidade de Alegrete duplique, o valor da vazão de descarga da simulação anterior foi elevada para 13.333,33 m³/dia. A figura 4.7.9 mostra que os valores de rebaixamentos não são significativos, mostrando ser esta uma vazão possível de ser explorada. Nota-se que o cone de depressão estende-se para Norte, onde o aquífero foi considerado de maior espessura.

- Cenário 3 :

No cenário 3, apresentado na figura 4.7.10, foi delimitada uma área de 3.600 ha (36 km²) onde se locou uma bateria de 9 poços. A área está assinalada na figura como A e foi localizada

na região onde as espessuras inferidas do aquífero são maiores. Adotou-se para cada poço uma vazão de 100 m³/h ou 2.400 m³/dia, resultando para os 9 poços uma vazão total de 21.600 m³/dia.

Sabendo-se que na fronteira sudoeste do Estado, o fluxo médio necessário para a irrigação da lavoura de arroz é da ordem de 1,58 l/s/ha (BELTRAME, 1991), ou 136,512 m³/dia/ha, a vazão simulada é suficiente para irrigar uma área de aproximadamente 160 ha. Deve-se considerar entretanto a característica do modelo de fluxo estacionário como foi observado no início deste item. A irrigação de arroz obedece a um ciclo, onde a irrigação propriamente dita tem duração de aproximadamente 100 dias e começa na segunda quinzena de novembro. Já as vazões simuladas no presente trabalho são contínuas e não se considera a recarga do restante do ano, quando a irrigação não é necessária. Logo este volume retirado continuamente, associado a técnicas de açudagem, pode certamente suprir uma demanda de irrigação bem maior que a estimada.

Neste cenário manteve-se a vazão correspondente ao poço de abastecimento da cidade com o valor atual de 200.000 m³/mês.

Observando os níveis piezométricos resultantes, na figura 4.7.10, chega-se a conclusão que estas taxas de vazão resultaram em valores de rebaixamento satisfatórios.

- Cenário 4 :

Neste quadro foi demarcada uma área de 2.400 ha (B na figura 4.7.11) semelhante a área A da simulação anterior. Nesta área foram locados 6 poços que em conjunto com os 9 poços da área A e o poço da cidade de Alegrete na parte central da área,

retiram uma descarga constante do aquífero.

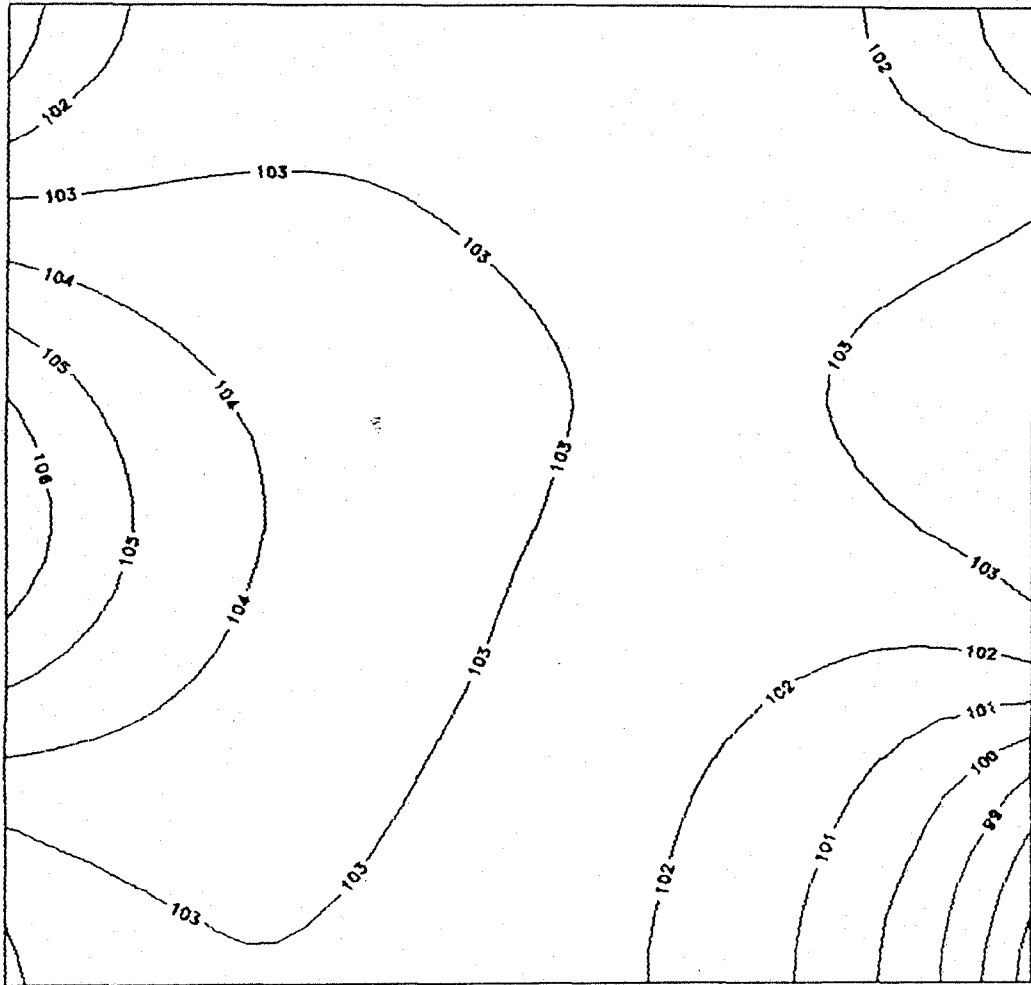
O poço de abastecimento foi mantido com o valor de 6667 m³/dia, as vazões dos poços da área A foram de 100 m³/h. Os poços da área B tiveram suas vazões estipuladas também em 100 m³/h, a exemplo da área A.

Analisando a figura 4.7.11 observa-se que os níveis piezométricos atingidos foram satisfatórios, com o que se conclui que as taxas de vazões adotadas, bem como a distribuição espacial das áreas são compatíveis com a potencialidade do aquífero.

- Cenário 5 :

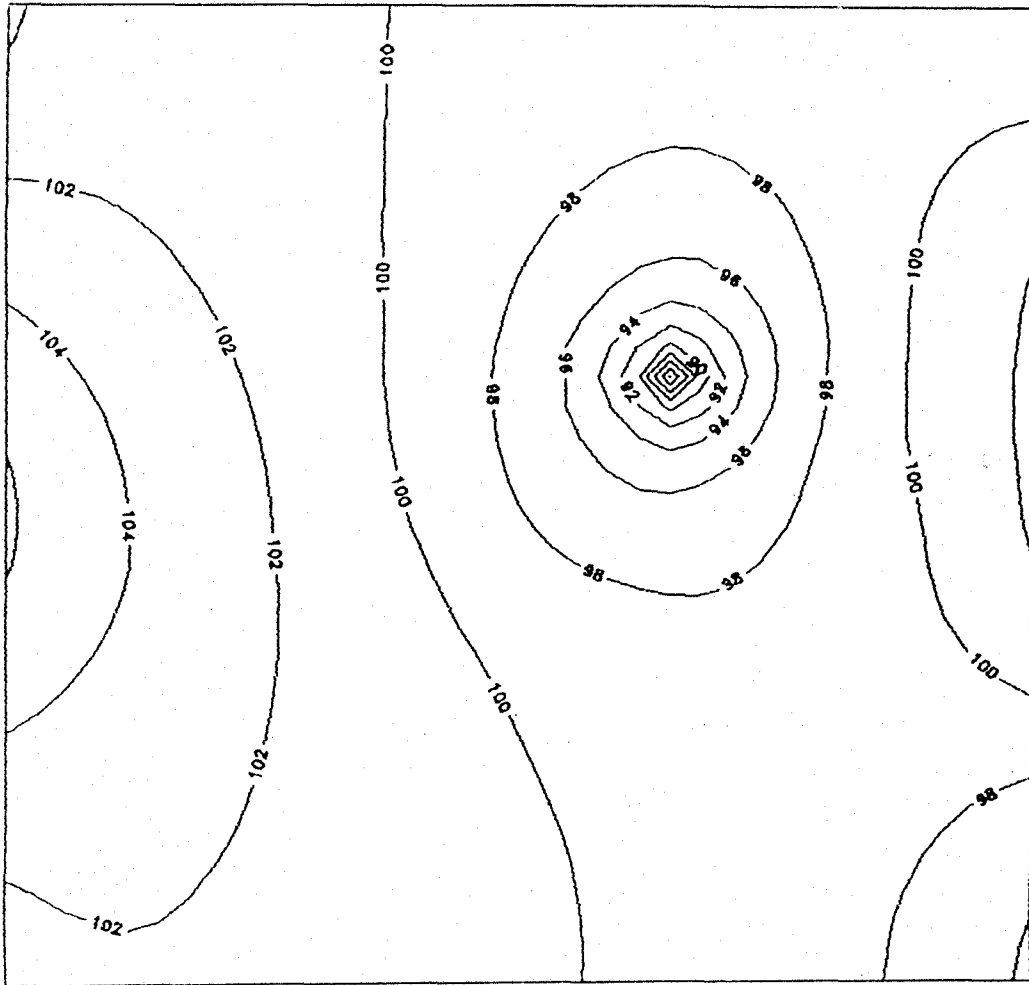
Foi mantido o mesmo quadro da simulação anterior, com os mesmas taxas de vazão para as áreas A e B e o poço central. Inseriu-se nesta simulação uma nova área (C na figura 4.7.12) com 6 poços locados. Estes poços tiveram suas taxas de descarga definidas em 100 m³/h.

Observa-se na figura 4.7.12 que não há uma mudança significativa dos níveis piezométricos em relação às áreas A e B. Na área C, locada em um local de menor espessura do aquífero (bloco Sul) os rebaixamentos foram da ordem de 10 m, se comparados a simulação anterior, mostrando ser perfeitamente aceitável a utilização de taxas de bombeamento desta magnitude.



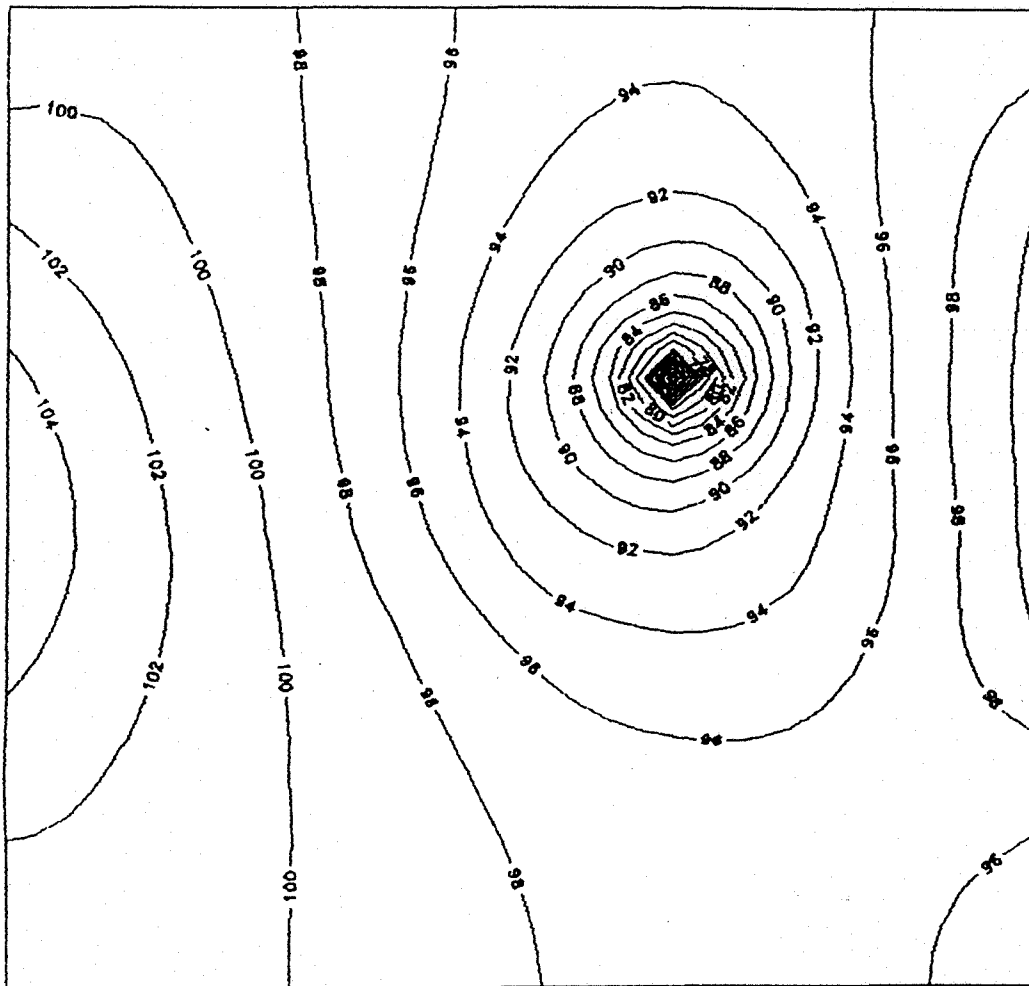
Escala: 1/250.000

Figura 4.7.7 - Níveis piezométricos gerados pelo modelo.



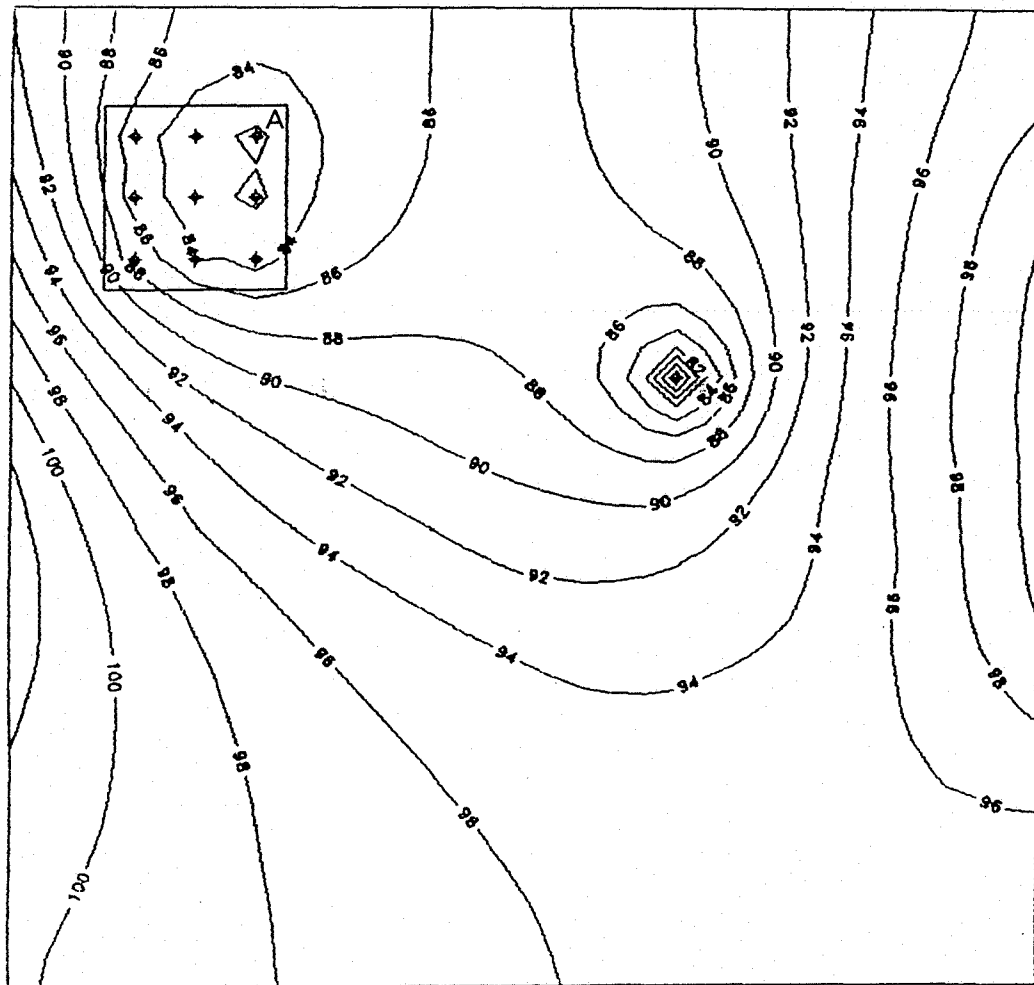
Escala: 1/250.000

Figura 4.7.8 - Cenário 1: potenciometria.



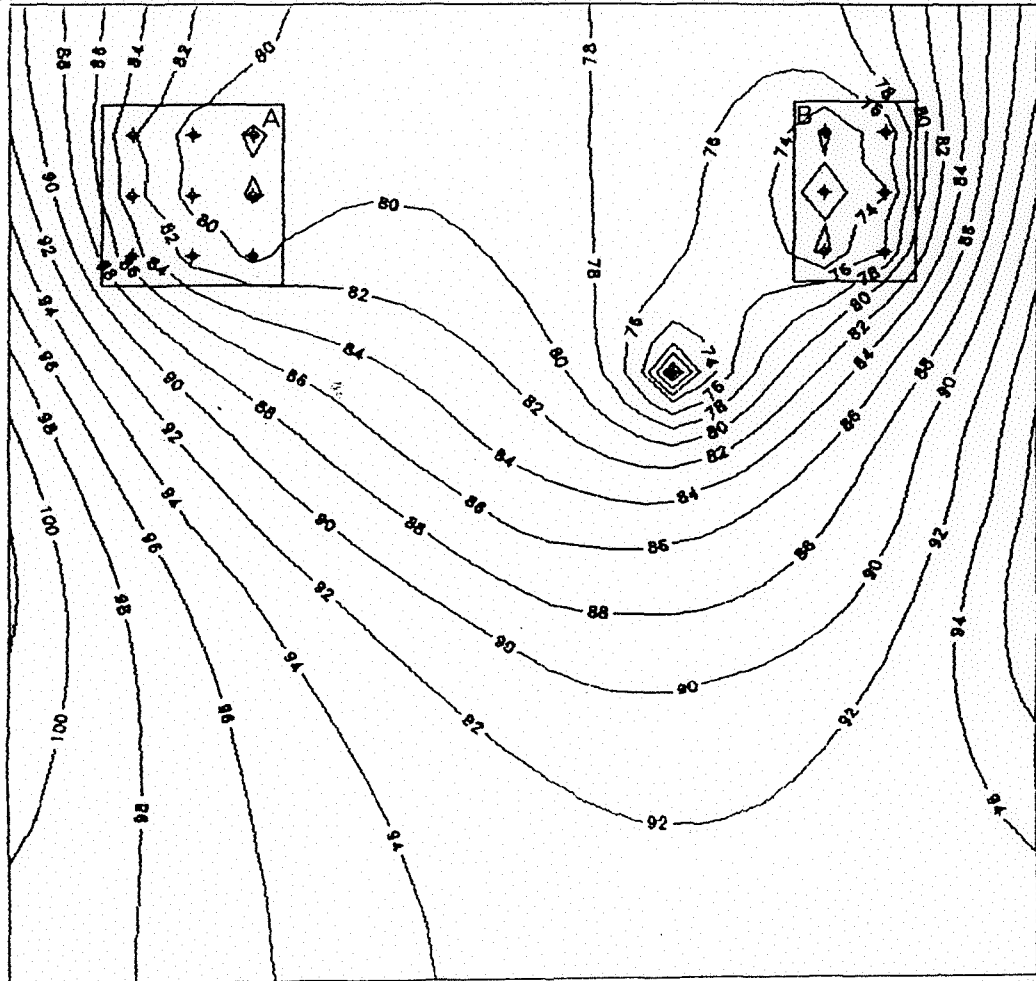
Escala: 1/250.000

Figura 4.7.9 - Cenário 2: potenciometria.



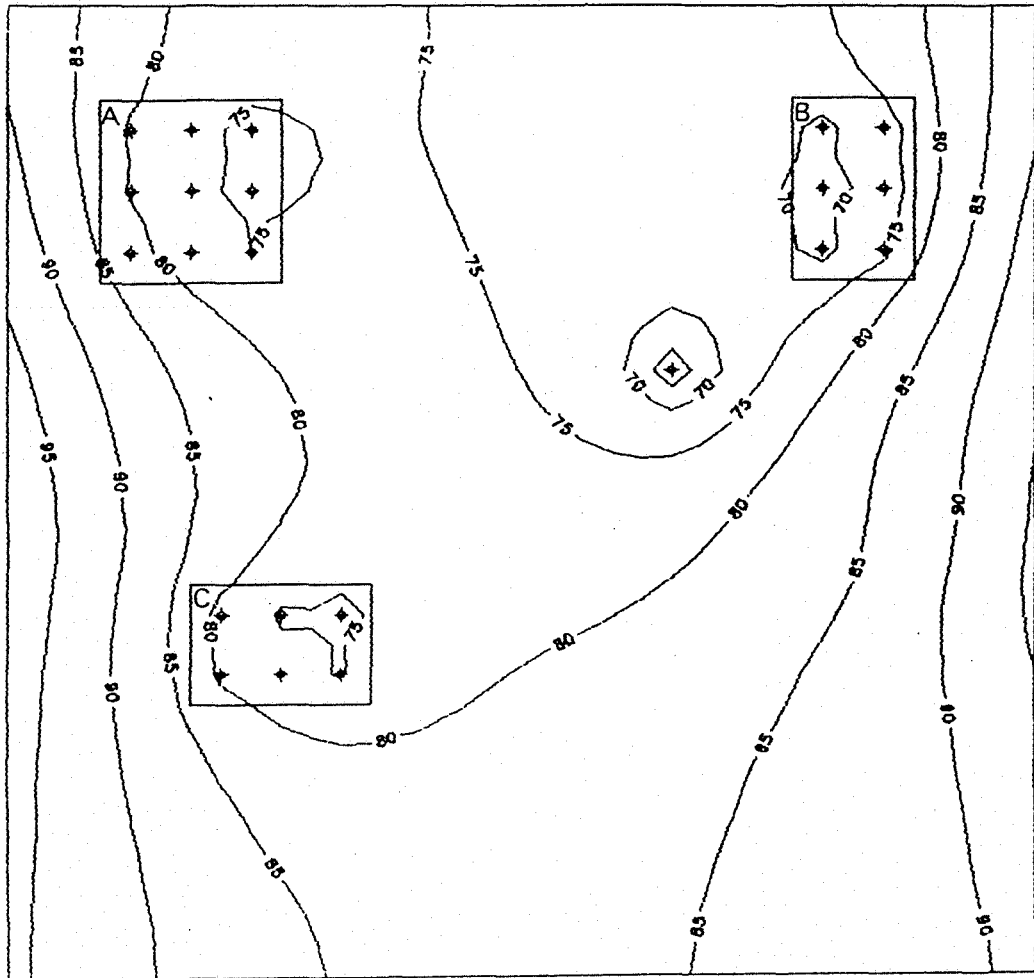
Escala: 1/250.000

Figura 4.7.10 - Cenário 3: potenciometria.



Escala: 1/250.000

Figura 4.7.11 - Cenário 4: potenciometria.



Escala: 1/250.000

Figura 4.7.12 - Cenário 5: potenciometria.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

5.1.1 Introdução

A aplicação de técnicas de interpretação morfoestruturais e estruturais permitiram obter resultados significativos para o conhecimento hidrogeológico da região. O uso de produtos de sensoriamento remoto, bem como o tratamento dos dados através de técnicas geomatemáticas, associados ao uso do geoprocessamento, possibilitaram definir um modelo estrutural preliminar da área, primordial no condicionamento do comportamento hidrogeológico regional.

Esta metodologia mostrou-se eficiente e de baixo custo, quando comparada com as técnicas tradicionais. A utilização do sensoriamento remoto e de técnicas computacionais como o Sistema Geográfico de Informações (SGI) tornaram-se importantes ferramentas nas mais diversas áreas da ciência. Este trabalho buscou mostrar algumas aplicações na área dos recursos hídricos subterrâneos, alcançando resultados satisfatórios.

5.1.2 Dados de superfície

Quanto aos resultados obtidos especificamente na pesquisa, observou-se, do ponto de vista dos dados de superfície que:

1. - A análise da rede de drenagem, através do estudo do padrão regional e suas perturbações, permitiu confirmar a presença de

lineamentos de médio porte mapeados em imagens orbitais, os quais são de interesse para a caracterização estrutural regional.

2. - A análise do relevo utilizando o sistema PROCOM-2, identificou uma morfoestrutura do tipo bacia braquisinclinal associada ao tectônismo que, embora fora do polígono de pesquisa, foi apresentada pela sua importância estrutural. O uso do sistema PROCOM-2, e de imagens apropriadas para análise do relevo (baixa elevação solar) mostrou-se eficiente na identificação de morfoestruturas que influenciam o fluxo da água subterrânea, como bacias ou domos.

3. - A geração do modelo numérico do terreno (MNT) da área mostrou a diferença em termos de cotas topográficas entre a parte Sul e Norte, sendo que na primeira o relevo apresenta-se mais dissecado com valores maiores de altitude, já ao Norte o relevo é mais aplainado com cotas menores.

4. - O estudo dos lineamentos de pequeno porte apresentou uma distribuição espacial diferenciada, ocorrendo a maior concentração na parte Sul e sudeste. Nestes locais constatou-se a presença de um relevo mais acidentado, sugerindo a existência de tectônismo por falhamento.

5. - Quanto a orientação dos lineamentos, a análise mostrou haver uma predominância de lineamentos pertencentes ao quadrante NW com destaque para a direção N40-50W (direção Médio Ivaí).

5.1.2 Lineamentos

Na utilização de técnicas geomatemáticas (superfície de

tendência) utilizadas no tratamento dos lineamentos observou-se que:

1. - Quanto a distribuição espacial dos lineamentos o emprego do método mostrou-se eficaz, sendo que a superfície de 4ª grau apresentou maior aderência aos dados observados. Foi possível visualizar a tendência da distribuição espacial dos lineamentos, bem como identificar áreas de diferentes comportamentos. Neste sentido, a região Sul, de um modo geral, apresentou os maiores valores do parâmetro densidade dos lineamentos.

2. - Na aplicação de técnicas geomatemáticas ao parâmetro orientação dos lineamentos observa-se que os vetores médios na parte Sul da área são predominantemente pertencentes ao quadrante NW, o que não ocorre na parte Norte.

5.1.3 Geoprocessamento

A análise dos dados de subsuperfície através de técnicas de geoprocessamento permitiu observar que:

1. - O topo do aquífero (arenito Botucatu) apresenta um comportamento diferenciado entre as regiões Norte e Sul da área, com diferenças de cotas na ordem de 100 m.

2. - Correlacionando o aspecto do relevo (MNT), a distribuição espacial dos lineamentos e a superfície do topo do arenito gerada, tem-se a confirmação da existência de um bloco soerguido ao Sul e um bloco abatido ao Norte, com um plano de falha descontínuo composto por uma componente de direção NW e outra de direção NE. Houve, portanto, concordância de informações de superfície e subsuperfície quanto ao tectonismo

sofrido pela área.

3. - A superfície referente a espessura do basalto vem reforçar a afirmação acima. Nela se observa a existência de uma espessura na ordem de 100 m da Formação Serra Geral ao Norte e uma pequena espessura no bloco Sul soerguido, devido principalmente a ação erosiva.

A identificação deste modelo estrutural preliminar vem salientar a importância dos efeitos da ação tectônica na caracterização hidrogeológica regional.

4. - A geração da superfície que representa o artesianismo mostra como o condicionamento estrutural, definido nas análises anteriores, relaciona-se com o comportamento hidráulico do aquífero. O bloco Norte apresenta os maiores valores, reflexo da maior pressão confinante.

5. - Quanto a modelagem matemática realizada, considerando as simplificações adotadas, observa-se que o aquífero Botucatu apresenta grandes potencialidades, já que retiradas de água simuladas de grande porte, em regime permanente, resultaram em valores compatíveis com a sua exploração.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Algumas recomendações devem ser citadas a fim de auxiliar no aperfeiçoamento da metodologia.

As interpretações estão fundamentadas nos dados utilizados. A geração de superfícies por técnicas de

interpolação exige uma boa distribuição espacial dos dados, no caso deste trabalho, de poços perfurados na área de pesquisa. Quanto maior o número de poços utilizados, distribuídos homogeneamente, mais confiáveis e precisos serão os resultados.

É necessário que se ampliem os dados de poços da região, aumentando o cadastramento de poços existentes, assim como assegurando que novos poços sejam registrados, tendo seus dados disponíveis para a comunidade interessada. Faz-se necessário a existência de um órgão gestor atuante que centralize um banco de dados hidrogeológicos, indispensável para os trabalhos sobre os recursos hídricos subterrâneos.

A falta de dados dos parâmetros hidrogeológicos não permitiu, nesta pesquisa, importantes análises, tais como: análise de vazões e análise espacial da transmissividade e armazenamento específico.

O modelo estrutural foi definido através da correlação dos diversos planos de informação utilizados na pesquisa, entretanto esta metodologia não dispensa os trabalhos de campo para se verificar e detalhar as estruturas inferidas.

O modelo matemático utilizado sofreu uma série de simplificações, sendo que seus resultados devem ser observados com critérios. Recomenda-se um maior detalhamento dos parâmetros necessários para a calibração do modelo. A aplicação de um modelo matemático de fluxo não estacionário pode fornecer maiores informações a respeito do uso da água subterrânea, principalmente no tocante aos ciclos de irrigação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, G. 1976. Teste da análise de superfícies de tendência para distribuições aleatórias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto. Anais. SBG. V.3., p.233-237.

ANDERSSON, C., BENABDERRAHMANE, A., BYSTRÖM, J., et al. 1992. Remote sensing as a tool in groundwater assessment: Example of Tamanrasset region, Hoggar, Algeria. Hydrogéologie, n.1-2, 1992, p.93-99.

BELTRAME, L.F.S., LOUZADA, J.A. 1991 Water use rationalization in rice irrigation by flooding. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE USO EFICIENTE DEL AGUA. México, Proceedings. out/1991.

BURROUGH, P.A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment. New York. Oxford University Press.

CARRARO, C.C. et al. 1974. Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Instituto de Geociências da UFRGS. 29p. Escala 1:1.000.000 .

CIRILO, J.A., CABRAL, J.P. 1989. Modelos de água subterrânea. Modelos numéricos em Recursos Hídricos. ABRH, 1989, p.302-380.

CLEARY, R. 1989. Águas subterrâneas. Engenharia Hidrológica. ABRH, V.2., Ed. UFRJ, p.293-404.

DAVIS, J.C. 1973. Statistics and data analysis in geology. New York : John Wiley. 550p.

DESFONTAINES, B. 1991. Principles of drainage basin analysis from multisource data : Application to the structural analysis of the Zaire Basin. Tectonophysics. n.194, 1991, p.237-263.

ECKERT, M.R., GUGLIOTTA, A.P. 1990. Poços de água subterrânea construídos pela CPRM-Porto Alegre no RS, com ênfase à área Gonduânica. Ciência e Natura. Santa Maria, V.12, p.119-122.

ENGESPAÇO. 1989. SIGI - Sistema de Informação Geográfica. Manual do usuário. São José dos Campos-SP.

ENGMANN, E.T., GURNEY, R.J. 1991. Remote Sensing in Hydrology. Chapman and Hall. N.York. 225p.

FRANZ, T., GUIGUER, N. 1990. Flowpath version 2.0. User's manual. Waterloo hydrogeologic, Ontario, Canada. 74p.

FOX, W.T. 1967. Fortran IV program for vector trend analysis of directional data. Computer Contribution. n.11. Kansas Geological Survey. Kansas, USA. 35p.

GOLD, D.P. 1980. Structural geology. Remote Sensing in Geology. New York, John Wiley. p.419-483.

GOLDEN SOFTWARE Inc. 1987. Surfer version 3.0. User's manual. Colorado, USA.

GREHS, S.A., SZUBERT, E.C. 1971. Metodologia utilizada na locação de poços-teste no município de Alegrete, RS. Projeto Sudoeste 1, Porto Alegre, SUDESUL. 18p.

GUPTILL, S.C. 1989. Evaluating Geographic Information Systems Technology. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, V.55., n.11., November 1989, p.1583-1587.

HAUSMANN, A. 1962. Aspectos hidrogeológicos das áreas basálticas do Rio Grande do Sul. In: PRIMEIRAS JORNADAS GEOLÓGICAS ARGENTINAS, Buenos Aires. Anales., V.2. p.103-106.

HAUSMANN, A. 1987. Curso sobre águas subterrâneas, IV. Itaipava, DNPM. 57f.

HOWARD, A.D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. Am. Ass. Petroleum Geologist, 51(11), p.2246-2259.

ISIORHO, S.A. 1985. The significance of lineaments mapped from remotely sensed images of the 1:250000 Lau Sheet in the Benue trough of Nigeria. Int. J. Remote Sensing, 1985, V.6., n.6., p.911-918.

KINZELBACH, W. 1986. Groundwater modelling : An introduction with sample programs in Basic. Developments in water science, 25. Elsevier Science Publishers. 333p.

KRUCK, W. 1992. Interpretation of satellite data with special regard to hydrogeology. Hydrogéologie, n.1-2, 1992, p.113-118.

LANGEVIN, C., PERNEL, F., POINTET, T., et al. 1991. Aide à la decision en matière de prospection hydrogéologique: L'analyse multicritère au service de l'évaluation du potentiel aquifère, en milieu fissuré. Hydrogéologie, n.1., 1991, p.51-64.

LISBOA, N.A., SCHUCK, M.O., EICK, N.C. 1985. Análise e interpretação litoestrutural de imagens. Uma aplicação do conceito "multi" na faixa metamórfica ao sul de Santana da Boa Vista, RS. Pesquisas, Porto Alegre, n.17, 1985, p.45-67.

LISBOA, N.A. 1990. Aspectos morfoestruturais e geomorfo genéticos do extremo sul-ocidental do Planalto Meridional, Quaraí, RS. Ciência e Natura, Santa Maria, n.12., 1990, p.105-109.

LIU, C.C. 1988. A geologia estrutural do estado do Rio de Janeiro vista através de imagens MSS do Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal. Anais. V.2., p.282-287.

McWHORTER, D.B., SUNADA, D.K. 1985. Ground-water hydrology and hydraulics. Fort Collins. Water Resources Publications. 290p.

MERH, A.J., LAGHATE, S.A., PATEL, R.K. 1989. Description of lineaments found in Kalavad Taluka of Jamnagar district and drilling drilled for water supply. International workshop on appropriate methodologies for development and management of groundwater resources in developing countries. IGW-89. V.1., p.311-317.

MIRANDA, F.P. 1983. Sensoriamento remoto na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Amazonas. Bol. Téc. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 1983, 26(4), p.268-291.

MÖBUS, G. 1987. Análise estrutural e hidrogeológica do aquífero fraturado da Formação Serra Geral, região noroeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 124f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

MONTANO, J., CARRIÓN, R. 1990. Optimizacion de la explotacion del sistema acuífero Jurásico Triásico Tacuarembó-Buena Vista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 6., 1990. Porto Alegre. Anais. Porto Alegre. p.180-189.

MORENO, J.A. 1961. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Secção de Geografia. 42p.

NORTHFLEET, A.A., et al. 1969. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. Boletim Técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro, 12(3), jul./set., p.291-346.

NORTHFLEET, A.A., BETTINI, C., CHAVES, H.A.F. 1971. Aplicação de geomatemática à prospecção de petróleo: análise de fraturas por polinômios ortogonais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo. 1971. Anais. São Paulo : Sociedade Brasileira de Geologia. V.3., p.61-70.

O'LEARY, D.W., FRIEDMAN, J.D., POHN, H.A. 1976. Lineament, linear, lineation : Some proposed new standars for old terms. Geol. Soc. Am. Bull., 87(10), p.1463-1469.

PRESOTTO, C.A. et al. 1973. Projeto hidrogeologia da fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul; relatório final. Porto Alegre, CPRM. 263p.

REBOUÇAS, A.C. 1980. Potencial hidrogeológico da Bacia do Paraná-Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1. 1980, Recife., Anais. Recife., p.35-47.

RODRIGUES, J.E., LIU, C.C. 1988. A geometria da iluminação solar e sua influência na observação de estruturas geológicas em imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal. Anais. V.2., p.294-302.

SAHAI, B., SOOD, R.K., SHARMA, S.C. 1985. Groundwater exploration in the Saurashtra peninsula. Int. J. Remote Sensing, 1985, V.6., n.3,4., p.433-441.

SANBERG, J.R.D. 1980. Estudo hidrogeológico nas províncias litológicas do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 99f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

SANTOS, A.R. 1986. O sensoriamento remoto e a estrutura rúptil: exemplos de aplicações em estudos tectônicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 1986. Gramado, RS. V.2., p.429-433.

SCHAWENGERDT, R.A. 1983. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Academic Press. Arizona.1983.

SCHUCK, M.O., LISBOA, N.A. 1987. Identificação de padrões estruturais no Grupo São Bento, Quaraí, RS, através da análise de imagens orbitais e sub-orbitais. Pesquisas, Porto Alegre, n.20., 1987, p.5-24.

SCHUCK, M.O., LISBOA, N.A., HAERTEL, V., DIAS, R.A. 1990. Estudo morfotectônico e estrutural de um segmento da bacia do Rio Uruguai, RS, através de técnicas de sensoriamento remoto. Acta Geológica Leopoldensia, n.30., V.13., 1990, p.229-242.

SINHA, R., TIWARI, R.S. 1989. Prospecting groundwater in Pushkar Lake Region through remote sensing - a case study. International workshop on appropriate methodologies for development and management of groundwater resources in developing countries. IGW-89., V.1., p.273-285.

SOARES, P.C., FIORI, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícia Geomorfológica, Campinas, 16(32), 1976., p.71-104.

SOARES, P.C., MATTOS, J.T., BALIEIRO, M.G., et al. 1981. Análise morfoestrutural regional com imagens de Radar e Landsat na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, Curitiba. Paulipetro, 23p.

SOARES, P.C., BARCELLOS, P.E., CSORDAS, S.M., et al. 1982. Lineamentos em imagens de Landsat e Radar: suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 1982, Brasília. Paulipetro, 22p.

SWAIN, P., DAVIS, M. 1978. Remote Sensing : The quantitative approach. McGraw-Hill, USA. 1978. 396p.

SUDESUL. 1970. Mapeamento geológico preliminar no município de São Pedro do Sul, RS, Brasil. In: Projeto Sudoeste 1. Geologia e Hidrogeologia, Porto Alegre., cap.6.

STEFFEN, C.A., LORENZZETTI, J.A., STECH, J.L., SOUZA, R.C. 1981. Sensoriamento remoto : Princípios físicos; sensores e produtos, e sistema Landsat. Transferência de tecnologia em sensoriamento remoto. INPE, 2226-MD/013, set/1981. 81p.

X TAKAHASHI, H.A. 1991. Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística, em setor do Planalto Meridional-RS. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 126f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

VENEZIANI, P. ANJOS, C.E. 1982. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. INPE 2227-MD/014. 61p.

YAMAGUCHI, Y. 1985. Image-scale and look-direction effects on the detectability of lineaments in radar images. Remote Sensing of Environment, New York, V.17., n.2., p.117-127.

WREGGE, M.L.D. 1984. Contribuição da água subterrânea à produção agrícola no RS. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, V.37(348), jan./fev., p.3-10.

ANEXO A

Relação dos poços utilizados

Poço	Construtor	Registro	Localidade	Longitude	Latitude
01	CORSAN	G317 AG6	Sede Munic.	55 48 23	29 46 34
02	CORSAN	G1385AG12a	Sede Munic.	55 48 00	29 47 25
03	CORSAN	G432 AG7	Vila Kenedy	55 48 26	29 48 32
04	CORSAN	G1622 AG15	Sede Munic.	55 45 24	29 47 44
05	DCM	007/ 85	Pedreiras	55 49 02	29 48 31
06	DCM	4772/ 81	Capão Angico	55 44 25	29 48 15
07	DCM	165/ 85	Cor.Papagaio	55 50 35	29 47 23
08	DCM	120/ 85	Cox.Vermelha	55 50 56	29 48 25
09	DCM	5112/ 83	Capivari	55 50 36	29 43 07
10	DCM	5141/ 83	Catimbau	55 42 54	29 52 22
11	DCM	4959/ 82	Caverá	55 44 20	29 53 31
12	DCM	4917	Caverá	55 44 01	29 54 05
13	DCM	036/ 86	Pinheiros	55 52 22	29 53 05
14	SUDESUL	PT - 3	Pinheiros	55 51 00	29 49 09
15	SUDESUL	PT - 1	Pinheiros	55 51 30	29 49 06
16	SUDESUL	PT - 2	Pinheiros	55 51 00	29 49 00
17	T. Janer	1382-1	Capão Angico	55 44 40	29 48 25
18	T. Janer	PA 1649/1	CEEE	55 43 10	29 45 42
19	T. Janer	PA 1597	Frigorífico	55 51 44	29 45 40
20	T. Janer	PA 1682/2	Faz.Cilulia	55 58 36	29 43 30
21	CPRM	9AL-05-RS	Inhanduí	55 59 04	29 48 07
22	CPRM	9AL-06-RS	Inhanduí	55 58 56	29 49 25
23	CPRM	AL-01-RS	Inhanduí	55 58 19	29 55 39
24*	CPRM	8AL-03-RS	Faz.Triunfo	55 56 37	29 36 40
25*	DCM	093/ 86	Palma	55 40 41	29 37 33
26*	DCM	5049	Palma	55 38 08	29 46 05

* Fora da área da pesquisa

ANEXO A (cont.)

Parâmetros utilizados

Poço	Profun. Poço	Cota Boca do Poço	Cota Arenito	Espess. Basalto	Nível Estático	Espess. Arenito
01	118	105	-4	109	12.2	ND
02	111	105	11	94	25.3	ND
03	118	98	11	87	9.0	ND
04	156	97	-51	148	14.4	ND
05	90	115	31	84	12.0	ND
06	125	95	5	90	13.0	ND
07	46	115	69	46	22.0	ND
08	54	120	75	45	29.0	ND
09	50	100	52	48	15.0	ND
10	43	120	105	15	13.0	ND
11	60	130	130	0	44.0	ND
12	64	120	120	0	35.0	ND
13	76	180	112	68	56.0	ND
14	145	110	66	44	14.1	66
15	130	112	68	44	21.1	84
16	165	104	74	30	11.3	109
17	110	110	16	94	19.0	ND
18	115	110	5	105	7.0	ND
19	202	120	-34	154	15.0	ND
20	207	140	55	85	35.0	ND
21	220	140	-6	146	25.6	ND
22	86	152	77	75	36.0	ND
23	156	160	69	91	64.8	55
24	225	105	-49	154	30.0	ND
25	69	110	44	66	30.0	ND
26	99	140	115	25	18.0	ND

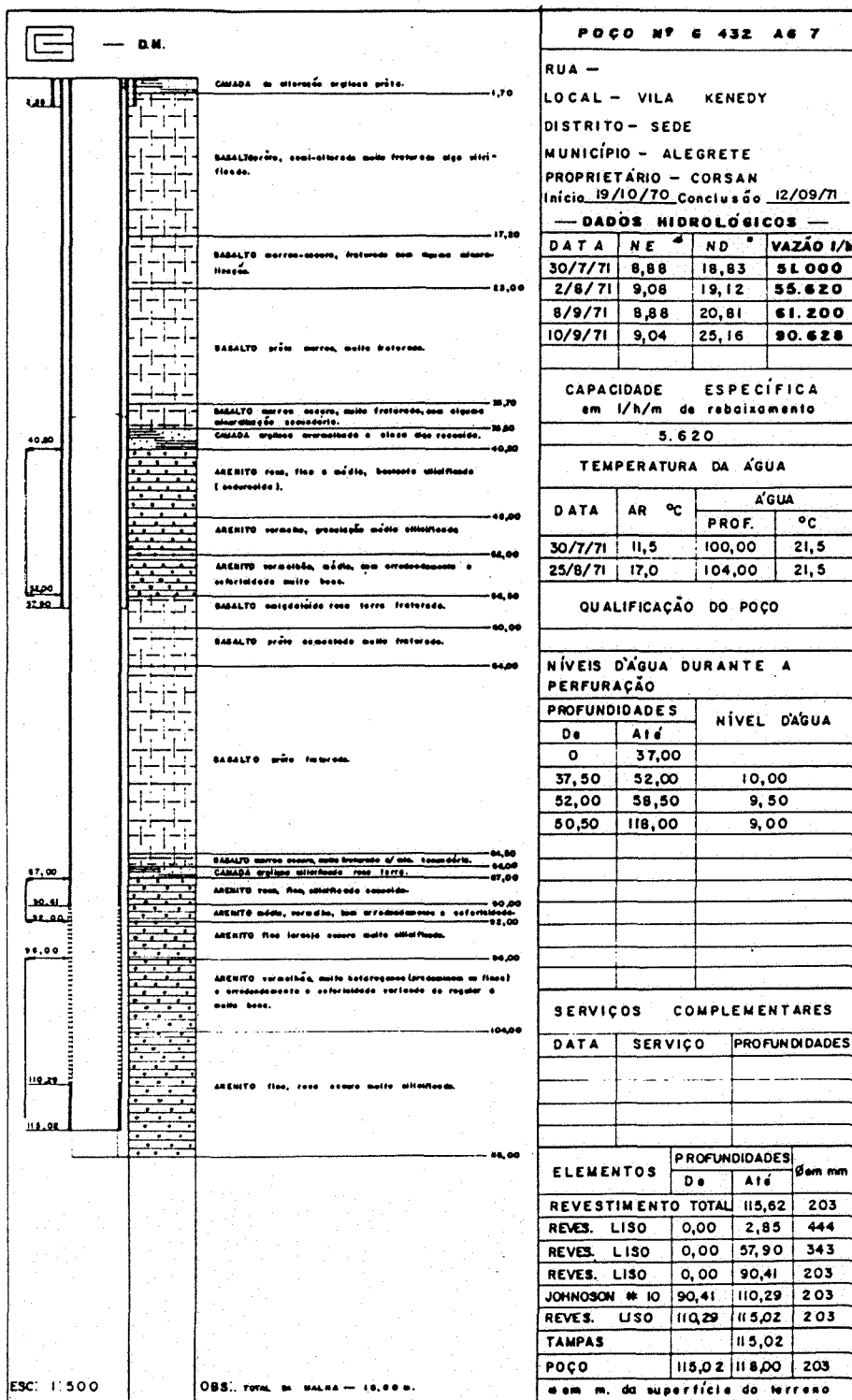
-Valores em metros

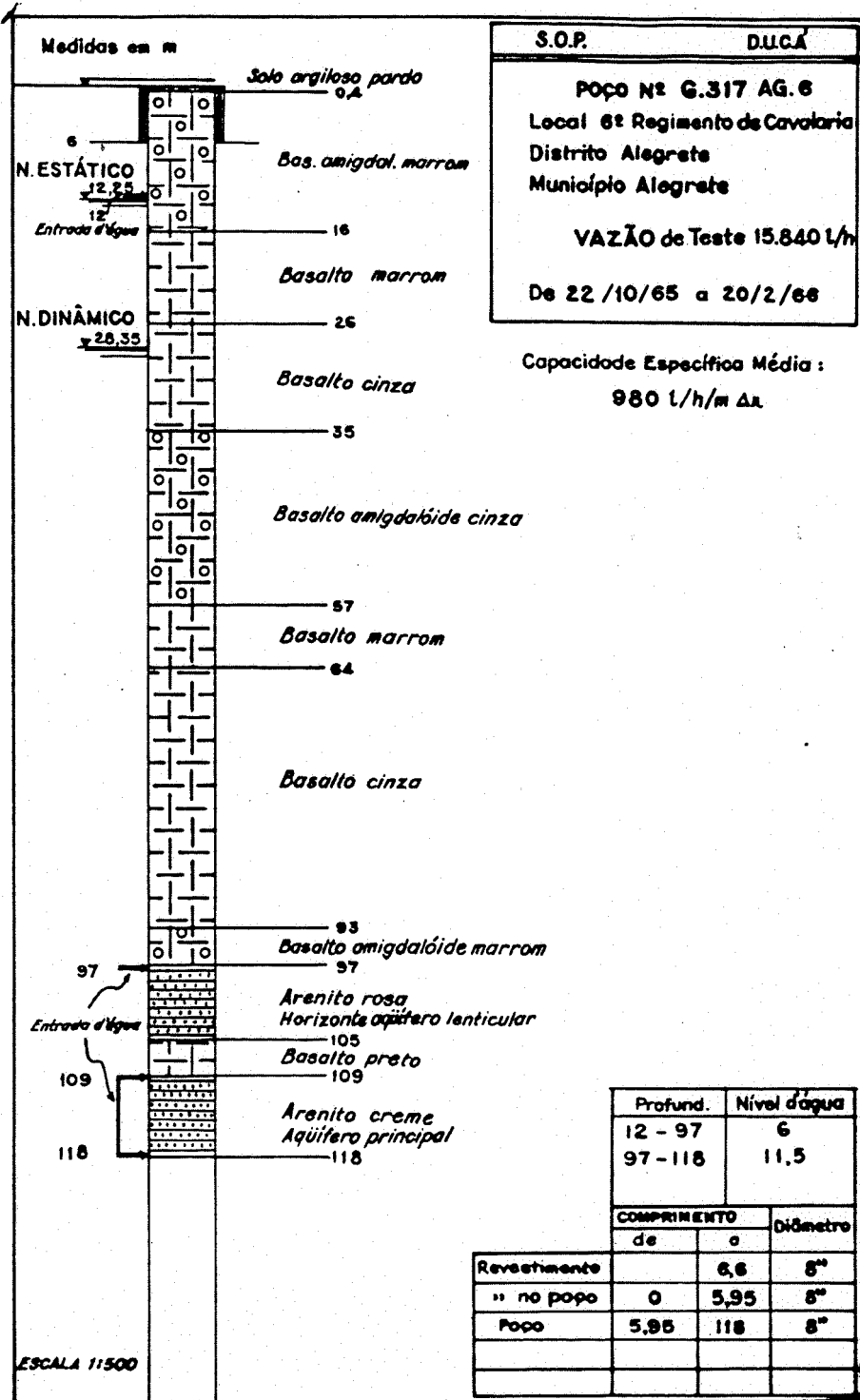
-Valores de cotas referem-se aos valores de cotas presentes nas cartas do SGE-MME escala 1/100000

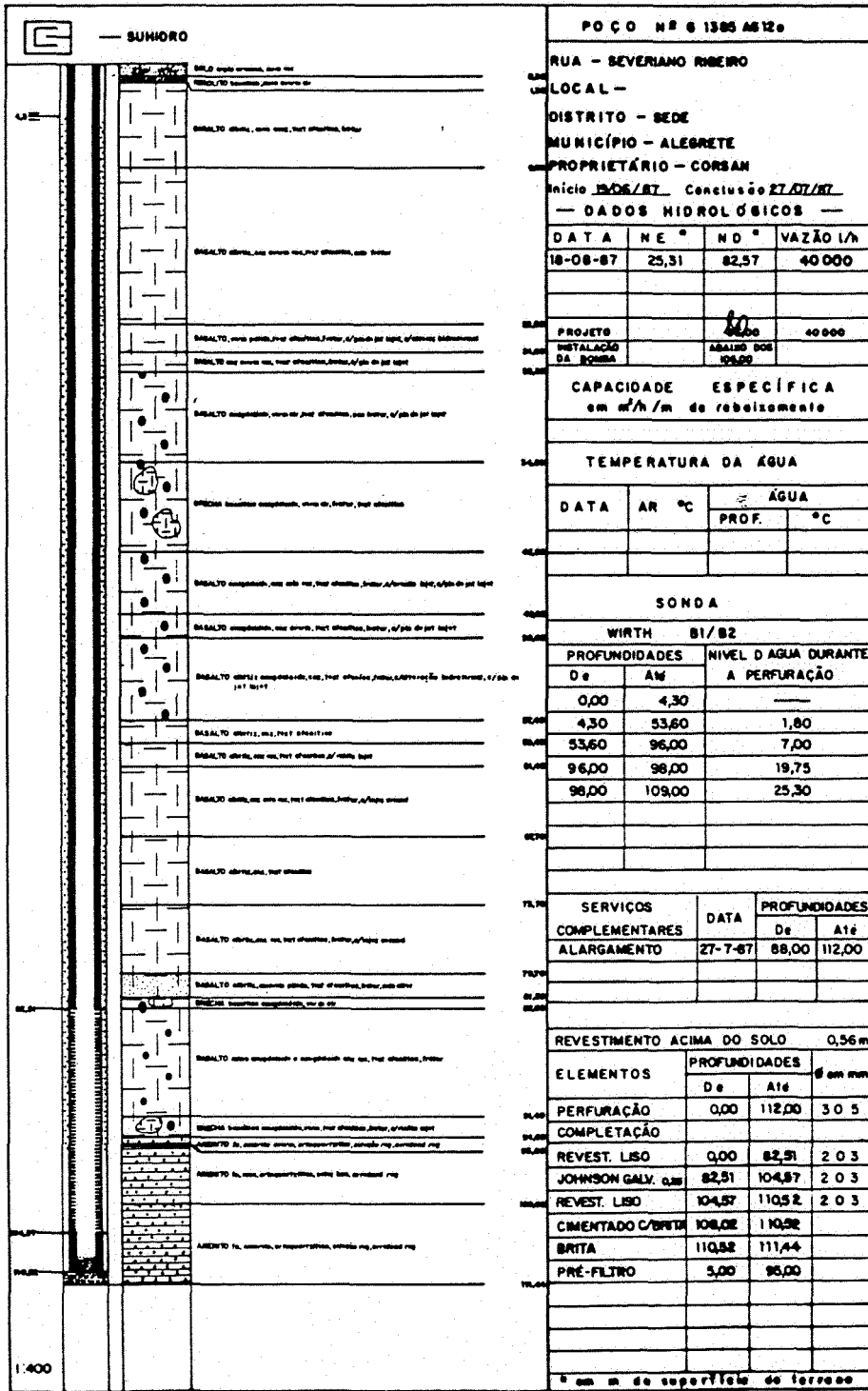
-ND: Não atingiu a base do arenito

ANEXO B

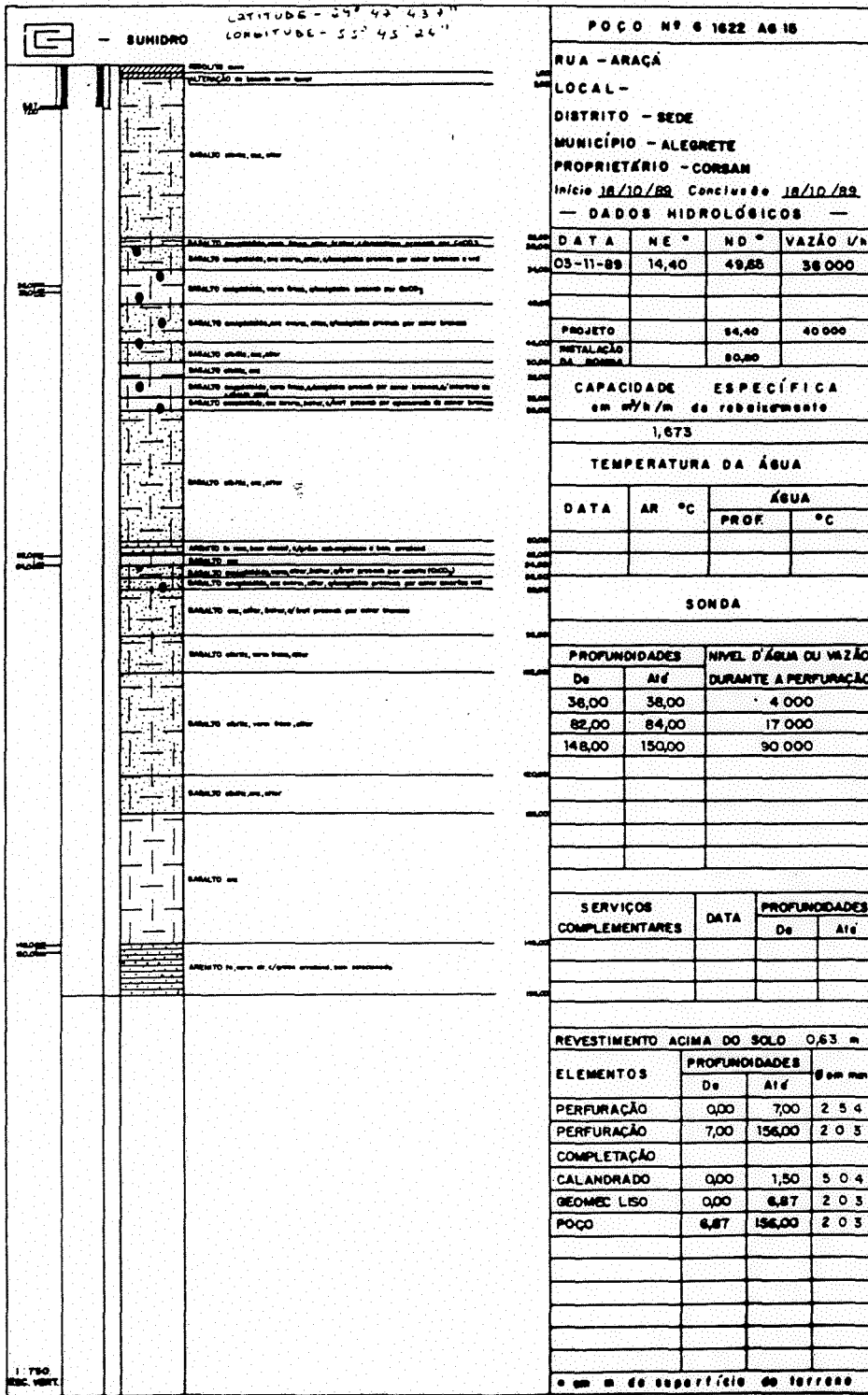
Perfis de poços







POÇO Nº 6 1385 AS120			
RUA - SEVERIANO RIBEIRO			
LOCAL -			
DISTRITO - BEDE			
MUNICÍPIO - ALEGRETE			
PROPRIETÁRIO - CORSAN			
Início 10/06/87 - Conclusão 27/07/87			
— DADOS HIDROLÓGICOS —			
DATA	NE °	ND °	VAZÃO l/h
18-08-87	25,31	82,57	40 000
PROJETO		40 000	
INSTALAÇÃO DA BOMBA		ABRIL 1988	106,00
CAPACIDADE ESPECÍFICA em m³/h/m de revestimento			
TEMPERATURA DA ÁGUA			
DATA	AR °C	ÁGUA	
		PROF.	°C
SONDA			
WIRTH 81/82			
PROFUNDIDADES		NÍVEL D'ÁGUA DURANTE A PERFURAÇÃO	
De	Até		
0,00	4,30		
4,30	53,60	1,80	
53,60	96,00	7,00	
96,00	98,00	19,75	
98,00	109,00	25,30	
SERVIÇOS COMPLEMENTARES		DATA	PROFUNDIDADES
ALARGAMENTO		27-7-87	De Até
			88,00 112,00
REVESTIMENTO ACIMA DO SOLO 0,56 m			
ELEMENTOS	PROFUNDIDADES		Ø em mm
	De	Até	
PERFURAÇÃO	0,00	112,00	30 5
COMPLETAÇÃO			
REVEST. LISO	0,00	82,51	2 0 3
JOHNSON GALV. 0,30	82,51	104,87	2 0 3
REVEST. LISO	104,87	110,5 2	2 0 3
CIMENTADO C/BRITA	108,02	110,32	
BRITA	110,52	111,44	
PRÉ-FILTRO	5,00	96,00	
* em m de superfície de terreno			



ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS

Município		ALLEGRETE		Localidade		CORREDOR DOS PAPAGAIOS		Poço n.º		154/86	
Proprietário						CILMAR MAGALHÃES FAGUNDES		L.º poço		Contrato n.º	
								10-01-86		Proc. n.º	
Sonda n.º		Início		Coord. Geog. aprox.		Sondador					
049		20 / 08 / 86		55°50'31" WGr.		NELCI B. SILVA FREITAS					
Término		X 6"		29°47'20" Sul		Aux. do Sond.					
15 / 09 / 86						Clarestino Freitas e Emilio Tomas					
Prof.		Bul. n.º		PERFIL LITOLÓGICO							
32 m		3371 e 3372		Descr. por: Em / /							
N. E.		Vazão		Recup.		Am. n.º		Prof. (m)		Col. Hól.	
2,0 m		5.000 l/h		<input type="checkbox"/> 8" m		01		0		5	
N. D.		<input checked="" type="checkbox"/> Caçamba		<input checked="" type="checkbox"/> 6" m		02		5		22	
2,0 m		<input type="checkbox"/> Bomba		<input type="checkbox"/> 4" m							
VARIÁVEIS DO N. F.						CONSUMO					
Prof. (m)		N. F.		Recup.		Comb.		Óleo Inbril.			
22		6		X		250		2			
		2		X		100 kg		2 kg			
						Outros					
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS						n.º de dias					
Perfuração						16					
Instalação da sonda						01					
Desmontagem da sonda						01					
Cravação de revestimento											
Retirada de revestimento						04					
Pescaria de ferramental											
Teste de vazão						01					
Outras											
SOMA						19					
PARALISAÇÕES						n.º de dias					
Sub. dom. e ferrados						07					
Mau tempo						01					
Avaria mecân. (motor)											
Avaria mecânica (sonda)											
Falta de ferramental											
Aguardando transp. da sonda											
Aguardando ordens											
Folga autorizada											
Falta de revest. comb. ou carvão											
Outros motivos											
SOMA						08					
Terminou início term.		Total atir. + paral.		Viato - Clote S. G.							
27 dias		19 + 08		dias							

Sele argiloso de coloração marron clara.

02 5 22 Rocha basáltica, pouco alterada de coloração cinza clara, com fragmentos tamanho areia média à granulo, textura afanítica. Início de caulínização e cloritização.

03 22 29 Idem a amostra nº 02 com coloração mais escura. 1ª entrada d'água.

04 29 30 Rocha basáltica, bem alterada, de coloração marron clara, com fragmentos tamanho areia média à grossa, textura afanítica com caulínização.

05 30 32 Rocha arenítica de coloração rosca avermelhada clara, com excelente maturidade textural e mineralógica. Com grãos de quartzo tamanho areia fina. Cimento argiloso.

Rocha basáltica com Rocha arenítica sobreposta.

ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS.

Município ALEGRETE		Localidade CORREDOR DO PAPAGAIO		Poço n.º 165/85	
Propr. ANTONIO JORGE L.P. DE SOUZA			<input checked="" type="checkbox"/> 1.º poço	Contrato n.º 13-01-85	Proc. n.º 11.926-85
Sonda n.º 049	Início 02 / 09 / 85	Coord. Geog. aprox. 55°50'35" WGr.	Sondador Nelci B. S. Freitas		
<input type="checkbox"/> 4"	Término 10 / 10 / 85	29°47'23" Sul	Aux. de Sond. Claestino Freitas e João Félix		
Prof. 57 m	Bol. n.º 3356 e 3357	DESCR. POR: PERFIL LITOLÓGICO			
N. E. 22 m	Vazio 5.000 l/h	Revest. <input type="checkbox"/> 8" m	Ann. n.º	Prof. (m) de a	Col. litol.
N. D. 22 m	<input checked="" type="checkbox"/> Caçamba	<input checked="" type="checkbox"/> 6" 9,5 m	01	0	18
VARIAÇÕES DO N. E.		CONSUMO			
Prof. (m)	N. E.	Recup.	Comb.	Óleo lubrif.	
		Bom MA	380	13	
14	0,5	X	Carvão	Graxa	
46	22	X	200 kg	3 kg	
			Outras	Estojas	
			-	1 kg	
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS		n.º de dias			
Perfuração		22			
Instalação da sonda					
Desmontagem da sonda		01			
Cravação de revestimento		01			
Retirada de revestimento					
Precaria de ferramental		03			
Teste de vazão		01			
Outras					
SOMA		25			
PARALISAÇÕES		n.º de dias			
Sáb. dom. e feriados		10			
Mau tempo		02			
Avaria mecân. (motor)					
Avaria mecânica (sonda)					
Falta de ferramental					
Aguardando transp. da sonda		02			
Aguardando ordens		05			
Folga autorizada					
Falta de revest. comb. ou carvão					
Outros motivos					
SOMA		14			
Período Inefetivos	Total ativ. + paral.	Visto - Chefe S. G.			
79 dias	25 + 14 dias				

01 0 18 Rocha basáltica medianamente alterada de coloração cinza variada - zona amigdalóide. O tamanho dos fragmentos varia entre ureia fina a muito grossa. As amígdalas são de quartzo.

02 18 28 Rocha basáltica pouco alterada de coloração cinza com fragmentos tamanho maior que areia grossa. A forma dos fragmentos indica um possível fraturamento. Alguns fragmentos com tonalidade avermelhada (ferro).

03 28 40 Idem a anterior com fragmentos tamanho do tamanho maior; forma bastante irregular e menos alterado - provável fraturamento.

04 40 46 Rocha basáltica de coloração cinza variegada - pouco alterada (mais que a anterior zona amigdalóide pouco expressiva. (Amígdalas de quartzo e zeolitas) Fragmentos de tamanho menor que a anterior.

05 46 50 Rocha arenítica de coloração rosa, fina com grãos de quartzo apresentando arredondamento e esfericidade médios. Grau de seleção médio - Textura superficial do grão é lisa e fosca.

SEC. DA AGRIC. - DEP. DE COM. MEC. - DIMEC - SEÇÃO DE GEOLOGIA
ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS

Município		Localidade		Poço n.º	
ALEGRETE		PINHEIROS		036/86	
Proprietário			<input checked="" type="checkbox"/> 1.º poço	Contrato n.º	Proc. n.º
JOSÉ SCHWANCK MODEL			03-01-86	1416/86	
Sonda n.º	Início	Coord. Geog. aprox.	Sondador		
049	12 / 02 / 86	55°52'22" WGr.	Nelci da Silva Freitas		
<input type="checkbox"/> 4"	Término	29°53'05" Sul	Aux. de Sond.		
<input checked="" type="checkbox"/> 6"	31 / 03 / 86		Luis Carlos Freitas e Clarestino		
Prof. n.º	Bor. n.º	3364 e 3365	PERFIL LITOLÓGICO		
76			Descr. por: Em / /		
N. E.	Vazão	Revest.	Am. n.º	Prof. (m)	Col. litol.
56	4.000 l/h	<input type="checkbox"/> 8" m	de	a	Descrição do Material
N. D.	<input checked="" type="checkbox"/> Caçamba	<input checked="" type="checkbox"/> 6" 24 m	01	0	12
56	<input type="checkbox"/> Bomba	<input type="checkbox"/> 4" m			
VARIÁVEIS DO N. E.			CONSUMO		
Prof. (m)	N. E.	Recup. Hom	Consul. M3	Óleo lubrif. l	
			520	12	
			Carvão	Graxa	
			300 kg	4 kg	
			Outros	Estopa	
			-	2 kg	
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS					n.º de dias
Perfuração					32
Instalação da sonda					01
Desmontagem da sonda					
Cavacão de revestimento					03
Retirada de revestimento					19
Pesquisa de ferramental					31
Teste de vazão					
Outras					
SOMA					33
PARALISAÇÕES					n.º de dias
Sáb. dom. e feriados					14
Mau tempo					
Avaria mecânica (motor)					
Avaria mecânica (sonda)					
Falta de ferramental					
Aguardando transp. da sonda					01
Aguardando ordens					05
Folga autorizada					59
Falta de revest. contub. ou carvão					68
Outros motivos					74
SOMA					15
Período Início: 12/02/86	Total stir. + paral.	Visto - Chefe R. G.			
48 dias	33 + 15 dias				

01 0 12 Rocha basáltica de coloração cinza escura medianamente alterada com fragmentos de diâmetro tamanho areia fina a grânulo. Textura afanítica. Caolinização.

02 12 19 Rocha basáltica de coloração amarronada, alterada. Grãos de quartzo secundário - amigdalas. Fragmentos com diâmetro tamanho grânulo. Oxidação - Carbonato.

03 19 31 Rocha basáltica de coloração marron escuro alterada, com fragmentos de tamanho areia fina. Quartzo secundário - amigdalas - textura afanítica - oxidação - caolinização.

04 31 59 Rocha basáltica de coloração cinza escuro, pouco alterada com fragmentos de diâmetro tamanho areia média e fina. Textura afanítica - magnetita presente.

05 59 68 Ideia a anterior porém mais alterada (oxidação) sem magnetita.

06 68 74 Rocha arenítica de coloração avermelhada pouco alterada, com quartzo - grãos tamanho areia fina, bem classificado com bom arredondamento e boa esfericidade. BOTUCATU

ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS

Município ALEGRETE		Localidade Pedreiras		Folha n.º 007/85				
Proprietário Cooperativa Agroindustrial			<input checked="" type="checkbox"/> 1.º poço	Contrato n.º 17-01-84	Freq. n.º 14.183			
Sonda n.º 049	Início 15 / 11 / 84	Coord. Geog. aprox. 55°49'02" WGR.	Sondador Nelci da Silva Freitas					
<input type="checkbox"/> 4"	Término	<input checked="" type="checkbox"/> 6"	Aux. de Sond. Emílio Tomas					
<input checked="" type="checkbox"/> 6"	22 / 01 / 85	29°48'31" Sul	Henrique Pires de Oliveira					
Prof. 90 m	Bol. n.º 0769 a 0771	PERFIL LITOLÓGICO						
Descr. por: Em / /								
N. E.	Vazão	Revest.	Am. n.º	Prof. (m) de a	Col. litol.			
12 m	4.800 l/h	<input type="checkbox"/> 8" m	01	0	12			
N. D.	<input type="checkbox"/> Cação	<input checked="" type="checkbox"/> 6" 84 m	Rocha arenítica de coloração rosada, rica em Qzo, com textura granular fina. Os fragmentos são de tamanho médio. Pode-se observar alguns grãos de Q apresentando esfericidade e arredondamento médios. Cimento silício - arenito intertrápico.					
80 m	<input checked="" type="checkbox"/> Bamba	<input type="checkbox"/> 4" m						
VARIAÇÕES DO N. E.						CONSUMO		
Prof. (m)	N. F.	Recup. Bos. M&M				Comb.	Óleo lubrif.	
12	8	<input checked="" type="checkbox"/>	840	25				
22	8	<input checked="" type="checkbox"/>	600 kg	5 kg				
			Outros:	Fátora				
			5 kg	5 kg				
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS			n.º de dias					
Perfuração			39	02	12			
Instalação da sonda			01					
Desmontagem da sonda			01	03	17			
Cravação de revestimento			03					
Retirada de revestimento								
Fiscalia de ferramental								
Teste de vazão			03					
Outras			01					
SOMA			49					
PARALISAÇÕES			n.º de dias					
Sub. dom. e feridos			18	04	22			
Man. tempo								
Avaria mecân. (motor)								
Avaria mecânica (sonda)								
Falta de ferramental								
Aguardando transp. da sonda			01					
Aguardando ordens				05	29			
Folga autorizada								
Falta de revest. comb. ou curvão			01					
Outros motivos								
SOMA			20					
Período Início - fim		Total ativ. + paral.	Visto - chefe R. G.					
69 dias		49 + 20 dias						
VIRE								

SEC. DA AGRIC. — DEP. DE COM. MEC. — DIMEC — SEÇÃO DE GEOLOGIA
ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS

Município MEGALHIM		Localidade Capão Angico		Poço n.º 4772	
Proprietário CORLIAC			<input type="checkbox"/> 1.º poço	Contrato n.º 21.0.81	Proc. n.º 18196/81
Sonda n.º 026	Início 15 / 12 / 81	Coord. Geog. aprox. 55°44'25" WGr.	Borador Justimiano A. Filho		
<input type="checkbox"/> 4"	Término		Aux. de Sond. Luiz Carlos Freitas e		
<input checked="" type="checkbox"/> 6"	02 / 02 / 82	29°48'15"	João Felix Castro		
Prof. 125 m	Bol. n.º 2646-1051-1052	PERFIL LITOLÓGICO			
N. E.		Vazão	Revest.	Am. n.º	Prof. (m)
15 m	5.000 l/h	<input type="checkbox"/> 8"	<input type="checkbox"/> 6"	01	0 10
N. D.	<input checked="" type="checkbox"/> Caçamba	<input checked="" type="checkbox"/> 6"	<input type="checkbox"/> 4"		
15 m	<input type="checkbox"/> Bomba				
VARIAÇÕES DO N. E.		CONSUMO			
Prof. (m)	N. E.	Recup. Hon M4	Comb. 1.400 l	Óleo lubrif. 80 l	
			Carvão 1.400kg	Graxa 10 kg	
			Outros -	Fatopa - kg	
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS			n.º de dias		
Perfuração			43	04	30 50
Instalação da Sonda			01	05	50 60
Desmontagem da Sonda					
Cravação de revestimento				06	60 70
Retirada do revestimento				07	70 80
Pescaria de ferramental					
Teste de vazão			01	08	80 90
Outras					
SOMA			45	09	90 105
PARALISAÇÕES			n.º de dias		
Fáb. dom. e feriados			07	10	105 115
Mau tempo					
Avaria mecân. (motor)					
Avaria mecânica (sonda)				11	115 125
Falta de ferramental					
Aguardando transp. da sonda			16		
Aguardando ordens					
Folga autorizada					
Falta de revest. comb. ou carvão					
Outros motivos					
SOMA			25		
Período Início/term. 69 dias	Total Ativ. + Paral. 70 dias	Visto - Chefe S. G.			

Granulação grosseira, alterada, cor vermelha

Granulação grosseira pouco alterada, cor cinza.

Granulação fina a média, cor cinza, pouco alterada - Rocha basáltica.

Idem a anterior.

Rocha basáltica relativamente alterada, cor cinza.

Idem a anterior

Rocha basáltica pouco alterada de cor cinza escura.

Idem a anterior

Rocha de cor avermelhada pouco alterada.

Areia de granulação média com cristais de cor clara.

Idem a anterior.

SEC. DA AGRIC. — DEP. DE COM. MEC. — DIMEC — SEÇÃO DE GEOLOGIA									
ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS									
Município				Localidade				Folha n.º	
				Cavem				4959	
Proprietário						<input type="checkbox"/> 1.º poço		Contrato n.º	Proc. n.º
Sociedade Nives						<input type="checkbox"/> 2.º poço		22.01.62	20.009.62
Sonda n.º	Início		Coord. Geog. aprox.			Sondador			
030	09 / 11 / 62		55°44'20" WGr.			Paulo Jari Galgare			
<input type="checkbox"/> 4"	Término	10 / 12 / 62		29°55'34" Sul			Aux. de Sond.		
<input type="checkbox"/> 6"							Clarestino Freitas e Marco Nassias		
Prof.	Ból. n.º	PERFIL LITOLÓGICO							
50 m	1597	1598	Descr. por: Em / /						
N. E.	Vazão		Revest.			Am.	Prof. (m)	Col.	Descrição do Material
0.5 m	5.000 l/h		<input type="checkbox"/> 8" m			01	0	60	
N. D.	<input type="checkbox"/> Cascalho		<input type="checkbox"/> 6" m						
0.7 m	<input type="checkbox"/> Bomba		<input type="checkbox"/> 4" m						
VARIACÕES DO N. E.					CONSUMO				
Prof. (m)	N. E.	Recup.		Comb.	Óleo lubrif.				
		Bor	Má	250	1	15	1		
				Carvão	kg	Graxa	kg		
				Outros		Folopa	kg		
							1		
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS									n.º de dias
Perfuração									12
Instalação da Sonda									
Desmontagem da Sonda									
Cravação de revestimento									
Retirada de revestimento									
Descarga de ferramental									
Teste de vazão									
Outras									
SOMA									12
PARALISAÇÕES									n.º de dias
Sub. dom. e feridos									10
Man. tempo									
Avaria mecân. (motor)									
Avaria mecânica (sonda)									01
Falta de ferramental									
Aguardando transp. da sonda									
Aguardando ordens									
Folga autorizada									
Falta de revest. comb. ou carvão									15
Outros motivos ()									01
SOMA									27
Período iníc. term.			Total Ativ. + Paral.			Visto - Chefe S. G.			
09 dias			12 + 27 dias						

Rocha arenítica de coloração rosa, grãos subarredondados a arredondados, granulometria média,

ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS

Município ALEGRETE		Localidade CAPIVARI		Poço n.º 134/86	
Proprietário Paulo Roberto Zielinski			Em l.º poço poço	Contrato n.º 08-01-86	Preço n.º 32.861/86
Sonda n.º 049	Início 03 / 07 / 86	Coord. Geog. approx. 55°51'04" WGr.	Sondador Nelci Bernardino Silva Freitas		
<input type="checkbox"/> 4" <input checked="" type="checkbox"/> 6"	Término 20 / 08 / 86	29°43'57" Sul	Aux. do Sond. Clarestino Freitas e Emilio Fomas		
Prof. m 41	Bot. n.º 3369 e 3340		PERFIL LITOLÓGICO		
N. F.	Vazão	Revest.	Ann. n.º	Prof. (m)	Col. litol.
21 m	2.000 l/h	<input type="checkbox"/> 8" m		de	a
N. D.	<input checked="" type="checkbox"/> Capomba	<input checked="" type="checkbox"/> 6" m	01	0	4
26 m	<input type="checkbox"/> Bomba	<input type="checkbox"/> 4" m			
VARIÁVEIS DO N. F.			CONSUMO		
Prof. (m)	N. F.	Recup. Hoz	Comb. MA	Oleo lubrif. l	Graxa kg
21	21	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12	2
40			30 kg	2 kg	
			Outros -	Estopa -	kg
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS			n.º de dias		
Perfuração			19		
Instalação da sonda					
Desmontagem da sonda					
Cravação de revestimento			02		
Retirada de revestimento					
Pesquisa de ferramental					
Teste de vazão					
Outras			07		
SOMA			28		
PARALISAÇÕES			n.º de dias		
Sáb., dom. e feriados			14		
Mau tempo					
Avaria mecân. (motor)					
Avaria mecânica (sonda)					
Falta de ferramental					
Aguardando transp. da sonda			04		
Aguardando ordens					
Folga noturna					
Falta de revest., comb. ou carvão					
Outros motivos					
SOMA			18		
Período inerte (dias)	Total atir. + paral.	Visto - Chefe R. G.			
46 dias	28 + 18 dias				

01 Solo argiloso de coloração marrom claro.

02 Rocha basáltica de coloração cinza clara alterada; fragmentos com diâmetro tamanho areia fina a granulo. Textura afanítica com pouca oxidação.

03 Rocha arenítica de coloração rosea-avermelhada, composta de grãos de quartzo com boa maturidade textural e mineralógica, com cimento argiloso.

SEC. DA AGRIC. — DEP. DE COM. MEC. — DIMCO — SEÇÃO DE GEOLOGIA										
ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS										
Município: Alegrete				Localidade: Cupivari				Poço n.º: 5112		
Proprietário: Sidnei Ramos						<input type="checkbox"/> 1.º poço	Contrato n.º: 08-01-83	Proc. n.º:		
Sonda n.º: 046	Início: 08 / 08 / 83		Coord. Geog. aprox.: 55°50'36" WGR.		Sondador: Justimiano A. Filho					
<input type="checkbox"/> 4"	Término: 09 / 09 / 83		29°43'07" Sul		Aux. de Sond.: Marco Bica e João Felix					
Prof.: 50 m	Bul. n.º: 0701 e 0702		DESCR. POR: Antonio/Fátima Em 7 / 16							
N. E. 15 m	Vazão: 5.000 l/h	Revest. <input type="checkbox"/> 8" <input type="checkbox"/> 6" <input type="checkbox"/> 4"	Am. n.º: 01	Prof. (m) de: 0	Col. litol. a: 7	Descrição de Material:				
N. D. 18 m	<input checked="" type="checkbox"/> Caçamba <input type="checkbox"/> Bomba	<input checked="" type="checkbox"/> 6" <input type="checkbox"/> 4"	12 m	7	23	Material silto arenoso, coloração cinza variegada contendo uma pequena quantidade de fragmentos de rocha basáltica.				
VARIAÇÕES DO N. E. CONSUMO										
Prof. (m)	N. E.	Recup.		Comb.	Óleo lubrif.	Grua	Estopa	n.º de dias	Prof. (m) de	Col. litol. a
		Bom	Má							
27			X	300 kg	7,25 l	5 kg	- kg	18	0	7
				300 kg	5	5	-	03	7	23
				1					23	35
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS								n.º de dias	Prof. (m) de	Col. litol. a
Perfuração										
Instalação da Sonda										
Desmontagem da Sonda										
Cravação de revestimento									03	23 35
Retirada de revestimento										
Pescaria de ferramental									04	35 36
Teste de vazão										
Outras (Limpeza)								03		
SOMA								21	05	36 45
PARALISAÇÕES								n.º de dias	Prof. (m) de	Col. litol. a
Náb., dom. e feriados										
Mau tempo									05	45 47
Avaria mecân. (motor)										
Avaria mecânica (sonda)										
Falta de ferramental										
Aguardando transp. da sonda									06	47 48
Aguardando ordens										
Folga autorizada										
Falta de revest., comb. ou carvão								06	07	48 50
Outros motivos										
SOMA								12		
Período Interferente:		Total Ativ. + Paral.		Visto - Chave B. G.						
27 dias		21 + 12 dias								

SEC. DA AGRIC. — DEF. DE COM. MEC. — DIMEC — SEÇÃO DE GEOLOGIA									
ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS									
Município ALBERTO			Localidade Catimban				Fogo n.º 5141		
Proprietário Joceli Alves Jain					L.º poço	Contrato n.º 07.01.83		Foco n.º 09157/83	
Sonda n.º 040	Início 18 / 06 / 85		Coord. Geog. aprox. 55°42'54" WGr.		Sondador Régio Saigo				
<input type="checkbox"/> 4"	Término				Aux. de Sond.				
<input checked="" type="checkbox"/> 6"	24 / 10 / 85		29°52'22" Sul		Sergio Augusto e Emilio Tomás				
Prof. 43	Bot. n.º 1315 e 1314 e 0751 e 0753		PERFIL LITOLÓGICO						
Descr. por: Em / /									
N. E. 13	Vazão 000	Revent. 1/h	<input type="checkbox"/> 8"	41	Am. n.º	Prof. (m) de	Col. Htel.	Descrição do Material	
N. D. 30	<input checked="" type="checkbox"/> Caçamba	<input type="checkbox"/> Bomba	<input type="checkbox"/> 6"	41	01	0	5	Rocha basáltica extremamente alterada; Observa-se ainda a presença de fragmentos de rocha basáltica original bastante alterada - Solo -	
VARIÁVEIS DO N. E.			CONSUMO						
Prof. (m)	N. E.	Recup. Boa	Má	Comb. 40	Óleo lubrif. 10	Carvão 10	Graxa kg	Outros kg	Estopa kg
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS									
Perfuração	16	03	10	15	Rocha basáltica medianamente alterada, coloração cinza - Boa percentagem de material vesicular - (na amostra de calha observa-se dois tipos de granulometria - isto pode ser considerado como camamento da porção superior.				
Instalação da Sonda	01	04	15	25	Rocha arenítica quartzosa de coloração rosada - Arenito Botucatu - (subarcóseo)				
Desmontagem da Sonda	01	05	25	35	Idem a anterior. Neste intervalo ocorreu camamento da porção superior.				
Cravagem de revestimento	03	06	35	43	Idem a amostra anterior mas com uma percentagem de ferro superior aquela - coloração rosada escura Arenito Botucatu.				
Retirada de revestimento									
Pescaria de ferramental									
Teste de vazão	01								
Outras									
SOMA	02								
PARALISAÇÕES									
Sáb., dom. e feriados	38	05	25	35					
Man. Tempo	01								
Avaria mecân. (motor)	33								
Avaria mecânica (sonda)									
Falta de ferramental									
Aguardando transp. da sonda	01								
Aguardando ordens									
Folga autorizada									
Falta de combustível, comb. ou carvão	29								
Outros motivos	06								
SOMA	102								
Período início-termin.	130 dias	Total Ativ. + Paral.	22 + 102	124 dias	Viata - Cheia R. G.				

SEC. DA AGMIC - DEP. DE COM. MEC. - DIMEC - SEÇÃO DE GEOLOGIA									
ARQUIVO DE CONTROLE DE POÇOS									
Município			Localidade				Poço n.º		
ALEGRETE			COXILIA VERMELHA				120/85		
Proj. / Cooperativa Agroindustrial					<input checked="" type="checkbox"/> 1.º poço	Contrato n.º	Proc. n.º		
					<input type="checkbox"/> 2.º poço	07-01-85	09280/85		
Sonda n.º	Início	Coord. Geog. aprox.		Borador					
049	12 / 07 / 85	55°50'56" WGR.		Neloi Silva Freitas					
<input type="checkbox"/> 4"	Término			Ass. de Sond.					
<input checked="" type="checkbox"/> 6"	31 / 08.85	29°48'25" Sul		Clarestino Freitas e João Félix					
Prof.	Bol. n.º	PERFIL LITOLÓGICO							
54	3553 e 3555	Descr. por: Em / /							
N. E.	Vazão	Recup.	Cont.	Óleo Inbrif.	Am. n.º	Prof. (m) de	Col. litol.	Descrição de Material	
29	4.000 l/h	<input type="checkbox"/> 8"	450	24	01	0	4	Rocha basáltica extremamente alterada, de coloração avermelhada com matéria orgânica vegetal presente. Zona amigdalóide.	
N. D.	<input checked="" type="checkbox"/> Caçamba	<input type="checkbox"/> Ronha	<input checked="" type="checkbox"/> 6"	250	02	4	25	Rocha basáltica pouco alterada de cor cinza com diâmetro dos fragmentos maiores que areia grossa. A forma dos fragmentos indica possível fraturamento.	
31	<input type="checkbox"/> Ronha	<input type="checkbox"/> 4"	-	4	03	25	32	Idem a anterior.	
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS				n.º de dias					
Perfuração				21					
Instalação da sonda				01					
Desmontagem da sonda				03					
Cavacão de revestimento				03					
Retirada de revestimento				04					
Pescaria de ferramental				02					
Trate de vazão				02					
Outras				06					
SOMA				53					
PARALISAÇÕES				n.º de dias					
Sáb. dom. e feriados				14					
Mau tempo				02					
Avaria mecân. (motor)				06					
Avaria mecân. (sonda)				02					
Falta de ferramental				01					
Aguardando transp. da sonda				01					
Aguardando ordens									
Folga autorizada									
Falta de revest. cont. ou cavacão				01					
Outros motivos									
SOMA				18					
Feriado início cont.		Total alt. + paral.		Visto - Chefe R. G.					
51 dias		53 + 18 dias							