

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL,
HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DOS SISTEMAS
AQUIFEROS GUARANI E SERRA GERAL NO
NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

LEANDRO MENEZES BETIOLLO

ORIENTADOR: ARI ROISENBERG

**BANCA EXAMINADORA: Prof. Dr. Egydio Menegotto
Prof. Dr. Nelson Amoretti Lisboa
Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp**

**Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito para obtenção do
Título de Mestre em Geociências.**

Porto Alegre – 2006

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL,
HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DOS SISTEMAS
AQUÍFEROS GUARANI E SERRA GERAL NO
NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

LEANDRO MENEZES BETIOLLO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Egydio Menegotto

Prof. Dr. Nelson Amoretti Lisboa

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Porto Alegre – Setembro de 2006

AGRADECIMENTOS

Muitos foram importantes durante a realização deste trabalho, cada um dando sua contribuição à sua maneira e em situações e assuntos diversos, tanto pessoais como profissionais.

A Cris, minha companheira, amiga, namorada e esposa, lá de dentro do coração meu mais profundo obrigado, pelos momentos de descontração e ajuda que me proporcionou e proporciona, por agüentar meus momentos de mau-humor e correria e pelas conversas geológicas e filosóficas.

Aos meus pais, sempre presentes em momentos difíceis e sempre dispostos a ajudar, sem medir esforços. Ao meu irmão e minha cunhada, pela motivação, camaradagem e exemplo. Vocês fazem parte dos meus amigos do peito.

Aos meus sogros, pela amizade e apoio que dão a mim e a Cris em vários momentos.

Ao meu orientador Ari, que muito me ajudou nesta reta final com sua visão crítica.

Ao meu co-orientador, Pedro Viero, pelas discussões geológicas, hidrogeológicas e hidrogeoquímicas.

Ao pessoal da 105, em especial o Arthur, pela garra no trabalho com o software livre, dicas de como trabalhar no SPRING, ajuda nos trabalhos de campo e conversas geológicas.

Aos estudantes de geologia, em especial ao CAEG, que não deixam a peteca cair e mantêm a energia e tradições dos geólogos por gerações.

Aos Guayamuns, pela resistência do dia-a-dia, camaradagem, humildade e fé.

A equipe do NAE da estatística da UFRGS, que me ajudaram nos tratamentos estatísticos das análises hidroquímicas.

Ao PRÓ-GUAÍBA / FEPAM que cedeu os dados da hidrografia e a CORSAN, que cedeu os dados dos poços tubulares.

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido na região nordeste do Rio Grande do Sul, denominada Bloco Morfotectônico da Fachada Atlântica, que abrange, em sua maior área, o pacote vulcânico da Formação Serra Geral, enquanto a parte mais meridional é constituída pelos arenitos da Formação Botucatu e pelas rochas sedimentares dos grupos Rosário do Sul e Passa Dois. A principal ênfase deste trabalho é caracterizar o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na área em estudo, limitada pelas coordenadas 50°02'00''-52°39'30''W e 28°29'20''-29°57'20''S. Realizado o inventário de 506 poços tubulares foram selecionados 166 poços contendo informações hidrogeológicas e hidroquímicas completas, que permitiram o tratamento estatístico através de análise de agrupamentos (*clusters*). Com base no estudo da tectônica rúptil através de aerofotointerpretação e filtragens em Sistema de Informações Geográficas (SIG) no Programa SPRING foram traçados 1676 lineamentos, com os quais foi possível definir padrões estruturais que condicionam a hidrogeologia e hidroquímica da área. Individualizaram-se 3 (três) lineamentos regionais de direção NE, que se somam ao denominado Sistema de Falhas Terra de Areia-Posadas (SFTA-P). Observa-se que a densidade de lineamentos não constitui o fator de controle da vazão específica, que tem relação maior com os lineamentos de médio porte (10 a 100 Km), cuja direção dominante é NW. A composição das águas, de acordo com o diagrama PIPER, é predominantemente bicarbonatada cálcica e/ou sódica, com incidência relativamente pequena de composição bicarbonatada cálcico-magnésiana e rara de águas sulfatadas e cloretadas. Os estudos estatísticos de dados hidroquímicos definiram 6 (seis) agrupamentos de amostras de água subterrânea. O grupo mais destacado e que abrange o SASG

compreende águas com baixo conteúdo iônico e cuja composição é relacionada à composição das águas meteóricas. Os demais grupos mostram em maior ou menor grau influência das formações gondwânicas permo-triássicas, sendo a variabilidade do conteúdo de cátions (Mg^{++} , Ca^{++} , Na^{+}) os parâmetros diagnósticos ressaltados na análise estatística. A ocorrência de *clusters* característicos do SAG no SASG demonstra a ascensão de água subterrânea, que é controlada pelos lineamentos de médio porte.

ABSTRACT

The present study was developed in the northeastern region of the State of Rio Grande do Sul, southern Brazil. This region includes mainly volcanic rocks from the Serra Geral Formation and sedimentary rocks from Botucatu Formation and Rosario do Sul and Passa Dois Groups. The main emphasis is to characterize the Guarani Aquifer System (SAG) and the Serra Geral Aquifer System (SASG) in the area limited by the coordinates 28°29'20''-29°57'20''S and 50°02'00''-52°39'30''W. The hydrochemical and hydrogeological database is composed by 166 tubular wells obtained from public companies. Tectonic patterns sustain a straight control on the hydrogeological and hydrochemical characteristics, being defined from 1676 lineaments mapped and georeferenced with SPRING software based on remote sense images. Three NE regional lineaments were identified, and control the well outflows and the hydrochemical characteristics. The higher well outflow values are associated to lineations longer than 10 km with NW dominant directions. The lineament density doesn't play an important role on the outflow. The water compositions in accordance with the diagram PIPER, is predominantly bicarbonated with calcic and/or sodic character, with relatively small incidence of bicarbonated magnesium-calcic and rarely sulphate and chlorine waters. The statistical studies based on Cluster Analysis defined six hydrochemical groups. Waters with low ionic contents are related to meteoric origin and dominate in the SASG region. The other groups show influence of the permotriassic gondwanic formations, with specific variability of cation contents (Mg^{++} , Ca^{++} , and Na^+). The occurrence of SAG characteristic water groups in the SASG demonstrates the groundwater ascension through deep fractures forming lineations greater than 10km.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA.....	15
3.	METODOLOGIA.....	16
3.1.	Levantamento de dados e de poços da região.....	16
3.2.	Trabalhos de aerofotointerpretação	19
3.3.	Reconhecimento geológico e geomorfológico de campo.....	21
3.4.	Estudos geoestatísticos	22
3.4.1.	Imputação de Dados pelo Método de Regressão.....	23
3.4.2.	Análise de Agrupamentos (<i>clusters</i>)	24
4.	GEOMORFOLOGIA	25
5.	GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO	33
5.1.	Grupo Passa Dois	36
5.1.1.	Formação Rio do Rasto	36
5.2.	Grupo Rosário do Sul	37
5.2.1.	Formação Sanga do Cabral.....	37
5.2.2.	Formação Santa Maria.....	38
5.3.	Grupo São Bento	39
5.3.1.	Formação Botucatu.....	39
5.3.2.	Formação Serra Geral.....	41
5.4.	Depósitos Cenozóicos	46
6.	A TECTÔNICA RÚPTIL NA ÁREA EM ESTUDO	48
6.1.	Lineamentos na área de estudo.....	48

6.2.	Compartimentação Tectono-Estrutural da Área.....	63
7.	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA EM ESTUDO	68
7.1.	Introdução.....	68
7.2.	Hidrogeologia da Área em Estudo.....	71
8.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS HIDROQUÍMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA EM ESTUDO.....	77
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	106
10.	BIBLIOGRAFIA	110

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, crescente número de estudos vem se desenvolvendo sobre o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), tanto em nível nacional, como também nos países vizinhos ao Brasil, tendo em vista propiciar um melhor entendimento das condições e potencialidades de armazenamento e vulnerabilidade dos dois sistemas. O SAG apresenta importância especial, pelo caráter multinacional e por ter condições melhores de armazenamento, devido a ser um sistema aquífero poroso, merecendo estudos que focam a proteção ambiental e o uso sustentável do manancial de água subterrânea, o que vem tendo financiamentos da Organização dos Estados Americanos (OEA), Fundo Mundial para o Meio Ambiente (GEF) e Banco Mundial.

Ainda é bastante difundida na sociedade a visão do funcionamento dos aquíferos como grandes mares subterrâneos de fluxo contínuo, retilíneo e homogêneo. Os sistemas aquíferos aqui estudados ainda não estão caracterizados em detalhe em relação às zonas de recarga, circulação e descarga e, tampouco, sob o ponto de vista de qualidade de água. A exploração feita sem o entendimento das condições hidrodinâmicas, tanto na escala regional como local, pode trazer conseqüências irreparáveis, no caso de rebaixamento do nível aquífero e contaminação antropogênica. E o conhecimento da qualidade das águas é extremamente relevante, pois permite direcionar seu uso para fins mais nobres, como o consumo humano e a produção de alimentos.

O presente estudo trata do mapeamento do setor Nordeste do Rio Grande do Sul, caracterizado morfologicamente por Frasca & Lisboa (1993) como Bloco

Morfotectônico da Fachada Atlântica, que apresenta forte afetação por tectônica rúptil, cuja caracterização estrutural é de fundamental importância para o entendimento da hidráulica e hidroquímica dos sistemas aquíferos envolvidos (FIG. 01). O trabalho é direcionado para melhorar o entendimento das condicionantes geológicas e das características do SAG e SASG na porção Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, da Bacia do Rio Taquari para leste, até os afloramentos das formações sedimentares da Bacia do Paraná no litoral Norte do estado. Será feita a análise dos lineamentos expostos em imagens orbitais e suas relações com as formações geológicas e os dados hidrogeológicos e hidroquímicos de poços tubulares inventariados. Com a integração destes dados será possível reconhecer áreas com características hidrogeológicas e hidroquímicas distintas, mesmo no caso de áreas pertencentes a um mesmo sistema aquífero, bem como identificar áreas de recarga e descarga.

A área em estudo, limitada pelas coordenadas geográficas Long. W 50° 02' 00'' a 52° 39' 30'' e Lat. S 28° 29' 20'' a 29° 57' 20'', corresponde a 41.400km², envolvendo aproximadamente 150 municípios gaúchos e as bacias hidrográficas do Rio Taquari-Antas, Rio Caí e do Rio dos Sinos, além de outras pequenas bacias tributárias destes e bacias dos rios que nascem nos Campos de Cima da Serra e fluem para Leste, como o Rio Maquiné e Três Cachoeiras. É acessível por várias rodovias asfaltadas, tanto federais, estaduais e municipais, sendo as principais a BR-101, BR-290, BR-116, BR-386, RS-118, RS-122, RS-020 e RS-129. Localmente há inúmeros acessos por estradas vicinais.

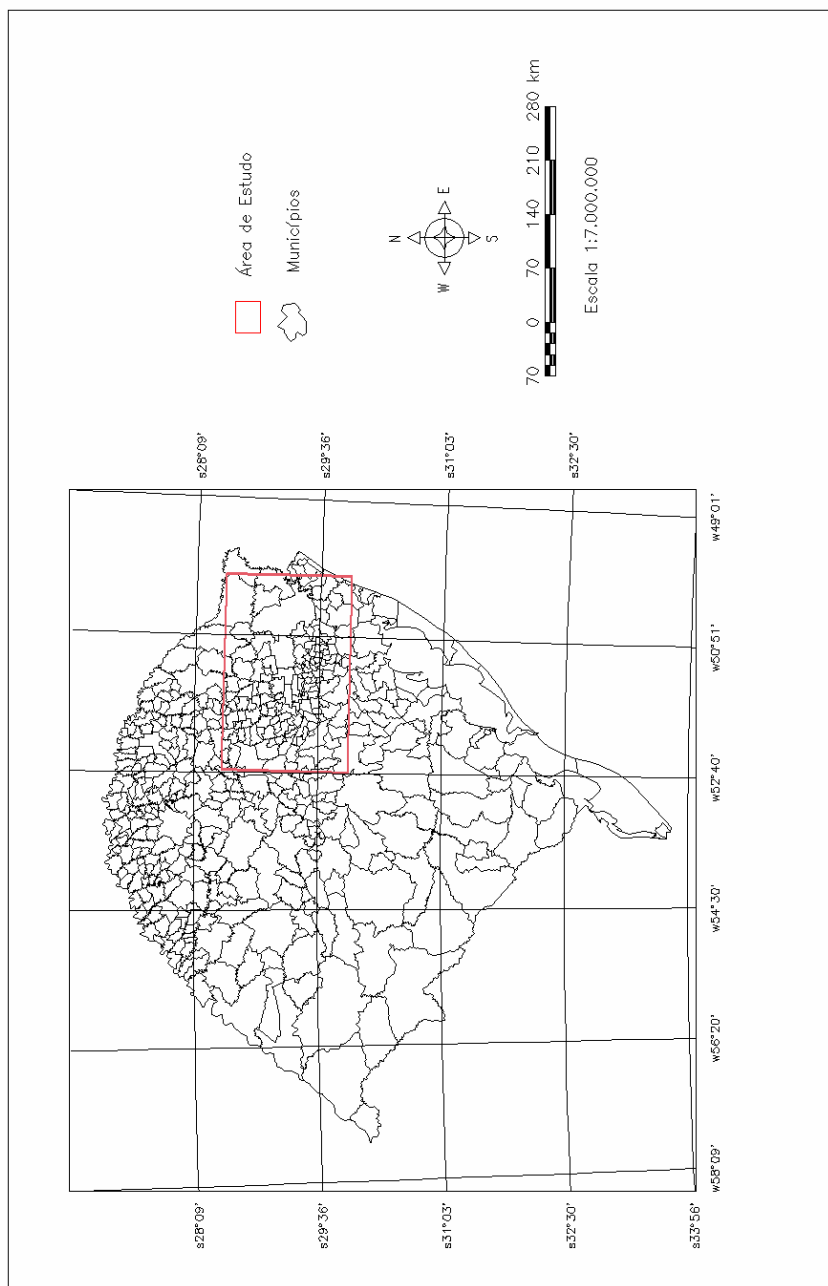


FIGURA 01 - Mapa de localização da área de estudo no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

A Unidade Morfotectônica da Fachada Atlântica (UMFA) é caracterizada pelo modelado escultural aplainado à Leste e dissecado em direção à Oeste. Segundo os autores, lineamentos de pequeno porte entre 1,6km e 10km, e de médio porte entre 10km e 100km são homoganeamente distribuídos na região. Os lineamentos de médio porte conferem a esta Unidade padrão predominante de blocos poligonais, com diferentes graus de dissecação. Tais blocos refletem estruturas falhadas do Cinturão Dom Feliciano, que constitui o assoalho da unidade morfotectônica. Os padrões morfoestruturais da UMFA são predominantemente lineares em blocos poligonais, que representam lineamentos tectônicos retilíneos. A região possui espessura média do manto de alteração de 06 a 12m em Bom Jesus, enquanto na região de Bento Gonçalves varia entre poucos centímetros a 4m.

Lisboa (1996) posteriormente propõem a subdivisão da UMFA em duas unidades hidrogeológicas, a saber:

Unidade Hidrogeológica da Fachada Atlântica Aplainada. Nesta unidade a recarga é favorecida pelo manto de alteração, que alimenta lineamentos de médio e pequeno porte, os quais abastecem as fraturas em profundidade. Devido ao relevo não dissecado e aos profundos níveis potenciométricos, é provável que a recarga do SAG se dê a partir do SASG.

Unidade Hidrogeológica da Fachada Atlântica Dissecada. A área abrangida por esta unidade apresenta um baixo potencial hidrogeológico, tendo em vista que os solos são pouco espessos, diminuindo a capacidade de armazenamento. O alto grau de dissecação do relevo favorece baixas altitudes nos lineamentos, representados por vales profundos. Os níveis potenciométricos do Sistema Aquífero Botucatu são mais elevados que na unidade anterior. Este fato inverte o fluxo entre os sistemas aquíferos Serra Geral e Botucatu com recarga profunda no primeiro pelo segundo. Esta unidade hidrogeológica

dissecada possui baixo potencial aquífero. Eventualmente um lineamento profundo com recarga proveniente do Sistema Aquífero Botucatu pode apresentar altas vazões anômalas na região.

2. OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA

O objetivo geral do presente estudo é a caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica do Bloco Morfotectônico da Fachada Atlântica, contribuindo para melhorar o conhecimento científico e técnico sobre o SAG e SASG na área abrangida pelas bacias hidrográficas do Rio Taquari-Antas, Rio dos Sinos e Rio Caí. A relevância do tema é justificada pelo papel desempenhado pelo SAG e SASG, tanto em nível local como em nível nacional, considerando-se suas dimensões, potencialidades e qualidade das águas subterrâneas.

Dentre os objetivos específicos a serem alcançados destacam-se os seguintes:

- Reconhecer a influência da tectônica na disposição dos diferentes tipos hidroquímicos de águas subterrâneas, testando a existência de blocos estruturais no condicionamento dos sistemas aquíferos;
- Correlacionar os lineamentos com a potencialidade de produção e a hidroquímica dos sistemas aquíferos;
- Identificar as áreas de recarga e descarga dos sistemas aquíferos que ocorrem na área em estudo;
- Identificar os padrões de distribuição dos tipos químicos de águas e suas relações espaciais com a geologia.

3. METODOLOGIA

Durante o desenvolvimento deste trabalho e até seu produto final, foram utilizadas técnicas geológicas correspondentes a várias especialidades das Geociências e de outros ramos da ciência, como mapeamento geológico, geologia estrutural, sensoriamento remoto, geoprocessamento, geomorfologia, geoquímica, hidrogeologia e estatística.

3.1. Levantamento de dados e de poços da região

A primeira etapa compreendeu a compilação das informações existentes sobre a área em estudo. Foi realizada ampla revisão bibliográfica, coletando dados a partir de artigos científicos, dissertações e teses de pós-graduação, além de mapas geológicos e cartas topográficas.

Paralelamente foram buscados registros de poços tubulares de água subterrânea constantes em órgãos governamentais, em particular na Companhia Riograndense de Saneamento/CORSAN, mesmo aqueles que não estão em atividade, com ênfase naqueles que possuíam informações consistentes, particularmente, localização, perfis de sondagem, ensaio de bombeamento e análises hidroquímicas. Com isto foi organizado um banco de dados que inicialmente contou em seu cadastro com 506 poços tubulares. Tomando-se como critério básico a necessidade de localização precisa em coordenadas UTM, o registro de análises químicas sem repetição

de amostras e sem resultados discrepantes e valores de vazão específica, restaram 166 registros de poços, que são aqueles finalmente usados nas interpretações deste trabalho e que constituem a malha amostral (FIG. 02). Como a CORSAN tem o objetivo do abastecimento público, a maioria de suas perfurações ocorre em ambiente urbano, estando concentradas na parte urbanizada dos municípios, com poucas perfurações nas zonas rurais.

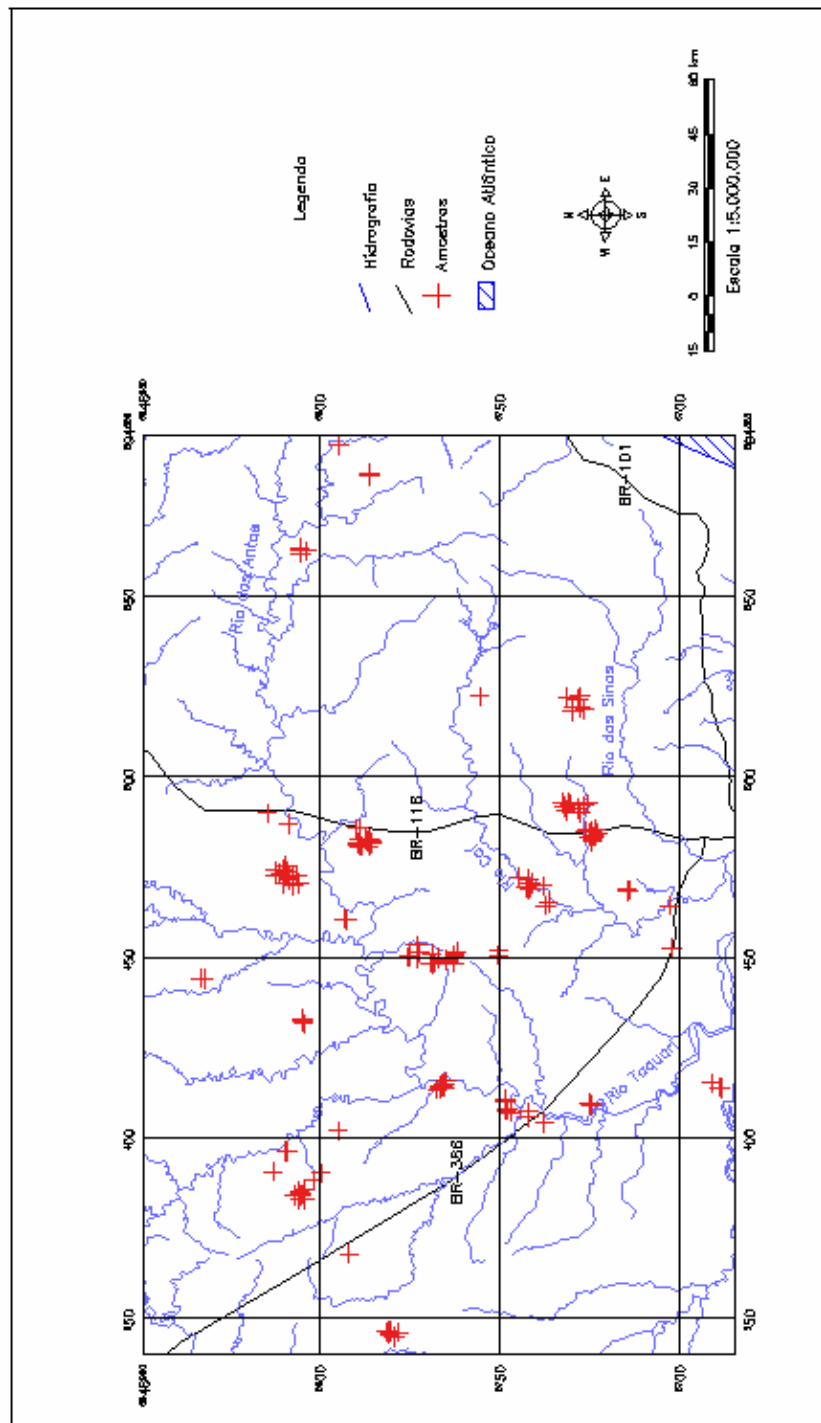


FIGURA 02 - Campo amostral dos popus tubulares inventariados, utilizados na hidrogeologia e hidroquímica.

3.2. Trabalhos de aerofotointerpretação

A etapa de interpretação geológica e geomorfológica foi efetuada com uso de imagens de satélite LANDSAT TM 7 bandas 3, 4 e 5 de julho de 2000 e da imagem de RADAR SRTM, disponibilizada pela NASA. No total foram utilizadas seis imagens LANDSAT, concentrando-se as informações na imagem de órbita-ponto 221-080. A imagem de RADAR SRTM é um mosaico que cobre todo o Rio Grande do Sul, sendo de manejo mais prático. A FIG. 03 demonstra a visualização da área de estudo a partir da imagem de RADAR.

Para a interpretação estrutural da área traçaram-se os lineamentos geológicos, destacados muitas vezes pelas drenagens e pelos alinhamentos das escarpas e vales. Foram traçados os lineamentos, divididos posteriormente em lineamentos de pequeno porte (<10km) e médio porte (10-100km).

Com as informações obtidas a partir do traçado de fraturas, foram confeccionados diagramas de rosetas, feitas filtragens por azimute e tamanho e elaborados mapas de densidade de lineamentos, a fim de se estabelecer padrões e blocos estruturais distintos, condicionantes da geomorfologia, hidrogeologia e hidroquímica.

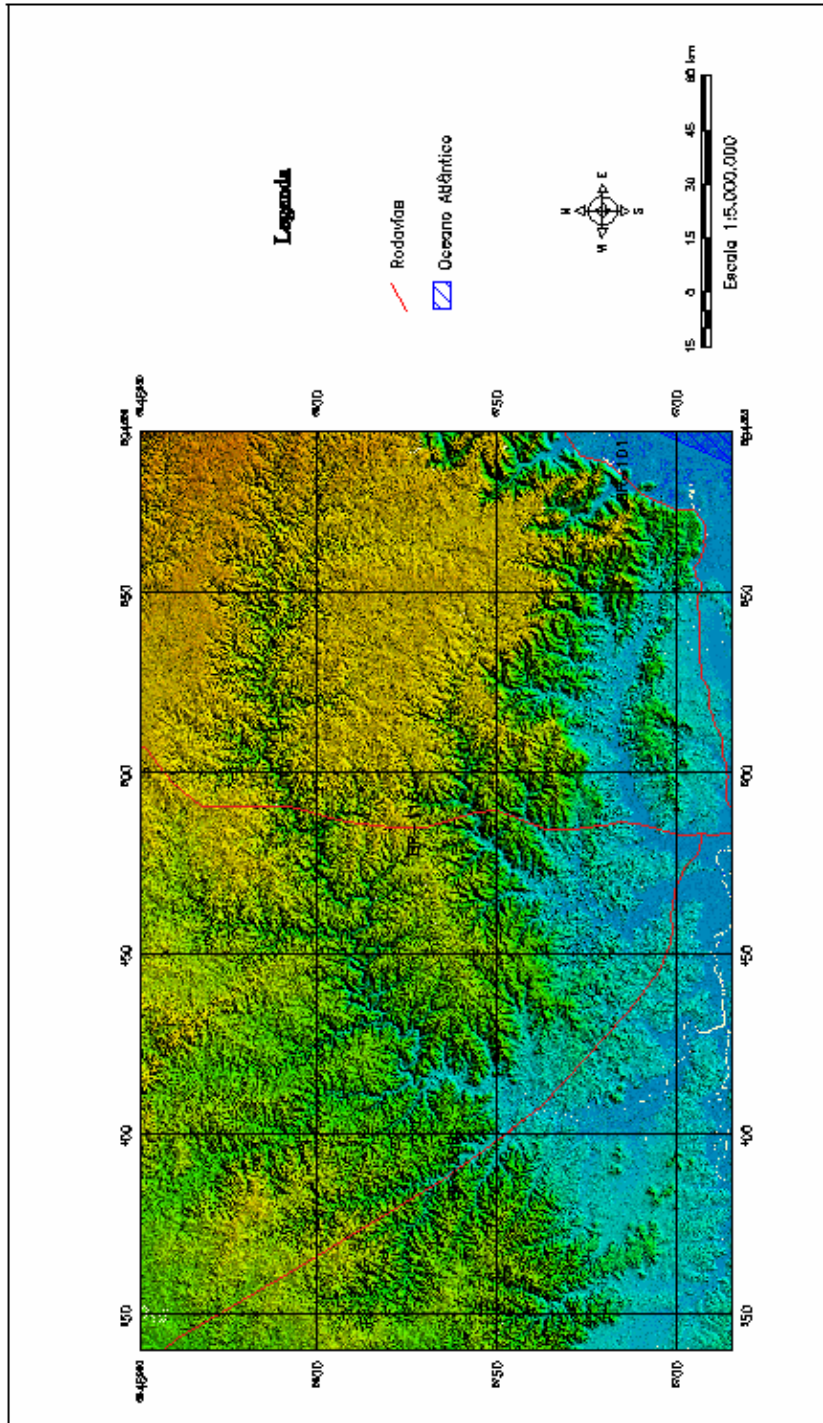


FIGURA 03 - Imagem de RADAR SRTM da área de estudo.

A união das informações obtidas e parte de seu processamento se deram com utilização do programa SPRING (CAMARA *et. al.*, 1996), que é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Este tipo de programa trabalha com informação vetorial, raster, numérica e textual, criando um banco de dados georreferenciado e possibilitando os mais variados tipos de cruzamentos de informação. No presente estudo constituiu-se o banco de dados de imagens de satélite e RADAR, informações de campo, valores hidroquímicos, traçados de lineamentos, rede hidrográfica e tratamentos estatísticos; georreferenciado no sistema UTM, modelo da terra SAD 69, meridiano de origem W 51°, zona 22.

3.3. Reconhecimento geológico e geomorfológico de campo

O reconhecimento geológico de campo na área estudada foi realizado com o objetivo de fornecer elementos e confirmar os dados obtidos na bibliografia. Os trabalhos totalizaram 08 dias em campo, e tiveram como intuito reconhecer as litologias da área, contatos geológicos e as principais feições estruturais como lineamentos e falhamentos traçados em laboratório e suas possíveis implicações no condicionamento dos sistemas aquíferos.

Como em torno de 80% da região constitui área de afloramento da Formação Serra Geral e seu contato com as formações sedimentares Juro-Cretáceas e Permianas, ocorre principalmente na zona de escarpa da serra, orientada no sentido E-W, foram realizados 06 perfis estratigráficos de orientação N-S desde as formações sedimentares até o topo da Formação Serra Geral. O mapeamento do contato das

formações sedimentares com a formação vulcânica, associado com os lineamentos estruturais traçados, dá suporte para a identificação de falhas e de blocos tectônicos, que estejam condicionando o aquífero, tanto na hidráulica como na hidroquímica.

A observação da morfologia do relevo, características do solo (espessura, estrutura e textura) e suas relações com as estruturas geológicas e geologia, também foram efetuadas em campo, para ajudar no reconhecimento das potencialidades de infiltração e circulação da água nas diferentes regiões da área de estudo.

3.4. Estudos geoestatísticos

Tendo sido processadas a maior parte das informações primárias contendo a geologia, hidrogeologia e hidroquímica, iniciou-se o processamento dos dados e tratamento estatístico, visando o melhor entendimento e racionalização dos resultados, em particular, dos dados hidroquímicos. Os trabalhos foram realizados com o apoio do NAE/IM/UFRGS (Núcleo de Assessoria Estatística/ Instituto de Matemática/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul), utilizando-se o programa SPSS versão 12, através de duas técnicas distintas: Imputação de Dados pelo Método de Regressão e Análise de Agrupamentos (*Cluster*).

Os estudos estatísticos levaram em consideração, ainda, o conceito de quartil, baseado na curva do desvio padrão das amostras, unicamente utilizado na análise dos padrões de vazão específica dos poços tubulares na área em estudo. O quartil médio representa a área central da curva, ou seja, os valores médios; o quartil

inferior representa as amostras situadas na curva em direção ao valor nulo e o quartil superior representa as amostras descendentes na curva para o infinito.

3.4.1. Imputação de Dados pelo Método de Regressão

É uma técnica utilizada para relacionar variáveis e preencher *missings* (espaços vazios num banco de dados) das análises químicas. A partir dos dados pode-se criar uma curva matemática (função) e estimar uma variável em função da outra. Dependendo do grau de associação entre variáveis, a curva que melhor se ajustar será usada. Alguns exemplos são regressão com curva linear, curva cúbica, curva exponencial, curva quadrática, curva logarítmica, entre outras. Nos casos analisados no presente trabalho, a curva utilizada foi a cúbica, pois comparada às outras, apresentou um coeficiente de correlação de maior valor absoluto, explicando a maior parte dos casos.

A regressão foi realizada aos pares tendo como variável independente, aquela que detinha maior número de casos válidos, através de equação do tipo

$$\hat{Y}=A+BX^3+CX^2+DX$$

Onde, \hat{Y} é a variável dependente (resposta), X é a variável independente (explicativa) e A , B , C , D são constantes, para A o Intercepto, e B , C , e D são coeficientes de regressão,. O procedimento de regressão foi adotado, justamente, para aumentar o número de casos válidos, estimando os dados faltantes do banco de dados.

3.4.2. Análise de Agrupamentos (*clusters*)

É utilizada para reconhecer semelhanças entre as análises, separando as mesmas em *clusters* (grupos com semelhanças) distintos. Especificamente, o objetivo é classificar uma amostra de casos dentro de um pequeno número de grupos mutuamente exclusivos baseados em similaridades entre os casos. Em análise de *cluster*, ao contrário da análise discriminante, os grupos não são pré-definidos. Contudo, a técnica é utilizada para identificar os grupos. A análise de *cluster* geralmente envolve no mínimo três etapas. A primeira é a mensuração de alguma forma de similaridade ou associação entre os casos para determinar quantos grupos realmente existem na amostra. O segundo passo é o processo de agrupamento, onde os casos são particionados em grupos (*clusters*). O passo final é identificar o perfil das variáveis para determinar a sua composição. Muitas vezes, o estudo pode ainda ser finalizado, aplicando análise discriminante para os grupos identificados pela técnica de *Cluster*. O Método K-Means, utilizado neste trabalho, calcula inicialmente as classes distribuindo uma classe uniformemente no espaço e então aglomerando classe por classe em um processo iterativo usando a técnica de distância mínima. A classificação estará pronta quando o número de interações definido pelo usuário for concluído.

Os dados hidroquímicos de cada grupo de amostras foram posteriormente cruzados com os lineamentos, com o intuito de identificar padrões e correlações entre disposição espacial e a tectônica.

4. GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia é controlada por diversos fatores, como o clima, as litologias presentes e o arcabouço estrutural da área. A combinação desses três fatores pode gerar resultados completamente diferentes. Por exemplo, uma rocha sedimentar pouco fraturada em clima seco irá gerar um tipo de macroforma de relevo, distinto em condições de clima úmido e ainda diferente, no caso de forte afetação tectônica. Valendo também estas condicionantes para o padrão de drenagem.

Berlato (1983) identificou dez regiões climáticas para o Estado do Rio Grande do Sul, englobando a área de estudo três regiões climáticas distintas, identificadas como Serra do Nordeste, Planalto e Depressão Central. De uma maneira geral, as três regiões apresentam características semelhantes, tendo como principal fator diferenciador a temperatura. Na Serra do Nordeste e no Planalto a média anual de temperatura é mais baixa e no inverno ocorre queda de neve. A pluviometria anual média nas três regiões é da ordem de 1800mm.

O estudo da geomorfologia, inicialmente analisada através das imagens de satélite, levou em consideração padrões e texturas do relevo e drenagem e tem como objetivo a definição das áreas potenciais de recarga e descarga. A informação geomorfológica foi complementada com o reconhecimento de campo, para confirmar as observações obtidas na aerofotointerpretação sobre a morfologia, seus controladores e resultados. A rede hidrográfica foi traçada em escala 1:250.000, a partir do banco de dados do Pró-Guaíba/FEPAM.

A área em estudo pode ser subdividida em três unidades geomorfológicas, Unidade Geomorfológica do Planalto, Unidade Geomorfológica da Escarpa e Unidade Geomorfológica da Sedimentação (FIG. 04).

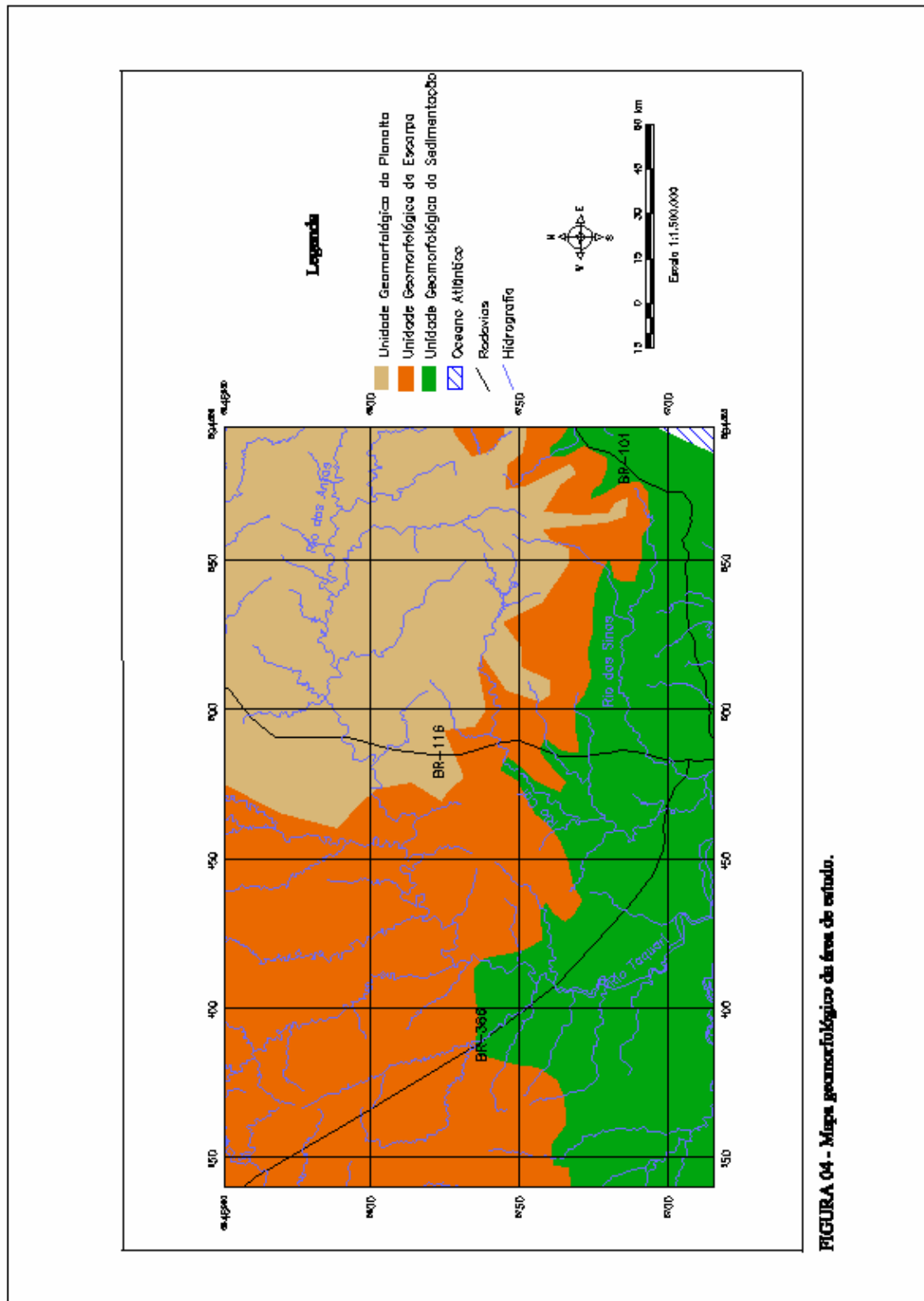


FIGURA 04 - Mapa geomorfológico da área de estudo.

A Unidade Geomorfológica do Planalto (UGP), na região dos Campos de Cima da Serra, caracteriza-se por representar regionalmente uma macroforma do relevo do tipo *cuesta*, com a face de menor inclinação para oeste (FIG. 05 e 06). Em escala de detalhe, observam-se localmente formas de relevo tipo meia-laranja com pequenas coxilhas e morros testemunhos. O padrão de drenagem é paralelo a subparalelo de textura média, condicionado por lineamentos tectônicos e pelo basculamento de baixo ângulo W-SW. Não raro, o padrão é do tipo lagunado, em razão da grande extensão da superfície aplainada e pela pouca profundidade do lençol freático. Nesta unidade há uma predominância de lineamentos de pequeno porte de direção NE e significativa presença de lineamentos de médio porte de direção NW e NE. O perfil de solo nesta unidade possui espessura média de 50 a 100 centímetros, exibindo aspecto heterogêneo, com grânulos, seixos e matacões misturados ao solo. Estas características estão relacionadas principalmente à natureza riolítica das rochas que sustentam a topografia, pouco suscetíveis ao intemperismo.

FIGURA 05 - Vista da UGP, ao fundo. Observar morfologia do relevo extremamente tabular, tendo a *cuesta* leve mergulho para oeste. Fotografia tirada a partir da Unidade Geomorfológica da Sedimentação.

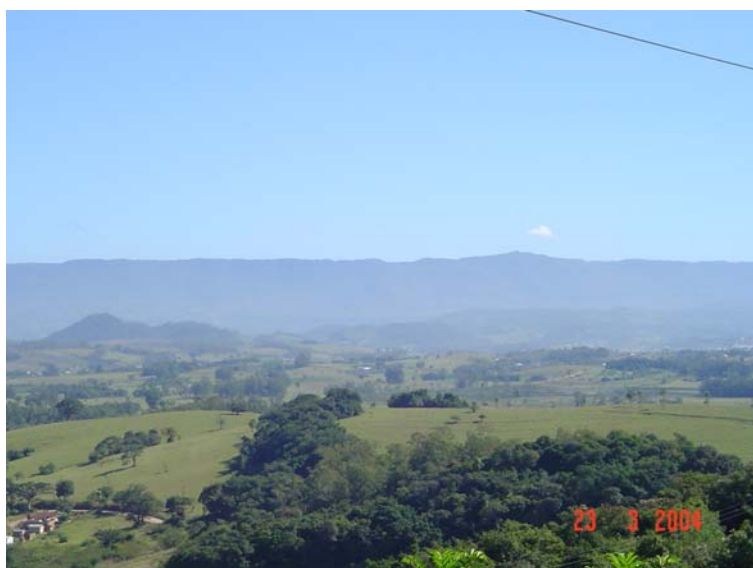


FIGURA 06 – Morfologia da UGP, composta por coxilhas, planos e morros tabulares. Região de Cambará do Sul.



A Unidade Geomorfológica da Escarpa (UGE) desenvolve-se na região da escarpa da Serra Nordeste e no noroeste da área de estudo em direção à região do Alto Jacuí. A macroforma de relevo é do tipo falhado, com lineamentos em diversas direções, criando um padrão de drenagem predominantemente angular e retangular de textura média (FIG. 07). Nesta unidade são claramente distintos os lineamentos NW, de pequeno porte na porção noroeste, sendo menos comuns os de médio porte com direção NW e NE. Na porção central da área de estudo, onde esta unidade é mais restrita, há uma predominância de lineamentos de médio porte NW e alguns NE. O perfil de solo é bastante heterogêneo, em geral constituindo depósitos de tálus e leques aluviais, com grânulos até blocos de rocha misturados à fração argilosa do solo (FIG. 08). A espessura média do solo é de 50 centímetros, com exceção dos locais com solo residual, onde pode alcançar 100 centímetros de espessura. As rochas aflorantes nesta unidade variam de vulcânicas basálticas a riolíticas, pertencentes à Formação Serra Geral.

FIGURA 07 – Fotomontagem da vista da UGE. Lineamentos condicionando a morfologia, formando um relevo de cristas e vales retilíneos. Rocha no topo do morro sustentando a topografia é de natureza riolítica.



FIGURA 08 – Depósito de tálus na UGE. Observar a variada granulometria dos sedimentos, com matacões e blocos imersos em matriz argilosa.



A Unidade Geomorfológica da Sedimentação (UGS) ocorre na base da escarpa da serra, estendendo-se até o limite sul da área de estudo, correspondente à

Depressão Central (FIG. 09). A macroforma de relevo transita de cupuliforme fina próximo à escarpa, com morros testemunhos tabulares e meia-laranja, para *cueta* e planície mais ao sul. O padrão de drenagem é subparalelo a meandrante, nos rios mais expressivos, com textura média a grossa. A presença de lineamentos é pouco expressiva, pelo mascaramento que a planície fluvial impõe. Com relação aos lineamentos, dominam os de pequeno porte e de direção NW, aparecendo os de direção NE mais a leste. Lineamentos de médio porte são escassos, a maioria com direção NE, ressaltando-se na calha dos rios. O perfil de solo é mais heterogêneo na região de relevo cupuliforme, onde ainda são registrados escassos derrames de basalto, resultando numa mistura de solo argiloso com grânulos e matacões misturados. No resto da unidade, onde predominam *cuetas* e planície fluvial, como as litologias aflorantes são rochas sedimentares da Bacia do Paraná ou depósitos fluviais cenozóicos, o solo é mais homogêneo e pode ter até 10 metros de espessura.

FIGURA 09 – Vista da planície da UGS, no vale do Rio Taquari, situado à esquerda na foto. Afloram as formações sedimentares da Bacia do Paraná intercaladas com depósitos fluviais. Morros testemunho em forma de meia-laranja e tabulares ocorrem ao fundo. Fotografia tirada no início da escarpa.



Cada unidade geomorfológica possui comportamento distinto sob o ponto de vista hidrogeológico. A UGP, por ser mais elevada, plana e com forte fraturamento, é a principal área de recarga dos sistemas aquíferos da região em estudo. A UGE, devido à alta declividade, dissecação e à abundância de litologias vulcânicas fraturadas constitui a área principal de descarga dos sistemas aquíferos, representando uma zona de recarga local para o aquífero livre e para o lençol freático. Na porção noroeste desta unidade geomorfológica, onde a extensão é maior, há um potencial maior de recarga dos sistemas aquíferos confinados, devido às cotas altimétricas mais elevadas e à distância das formações sedimentares. A UGS é principalmente área de descarga, devido às cotas altimétricas mais baixas e às grandes planícies estabelecidas, sendo zona de recarga local dos sistemas aquíferos livres.

5. GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo está localizada na porção Sudeste da Bacia do Paraná que corresponde a uma bacia intracratônica ou sinéclise, desenvolvida do Devoniano ao Cretáceo, sendo afetada por episódios tectono-magmáticos do ciclo Brasileiro (MARQUES *et al.*, 1979) e do Mesozóico. Parte dos estados brasileiros do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul é recoberta por rochas sedimentares e vulcânicas de preenchimento da Bacia do Paraná, que ainda se estende pelo Uruguai, Argentina e Paraguai.

A região analisada no presente estudo compreende dois cenários geológicos distintos, o setor mais ao norte é constituído pelas rochas vulcânicas mesozóicas da Formação Serra Geral, que sustentam o planalto meridional e se sobrepõem às camadas sedimentares gondwânicas do Grupo São Bento, Grupo Rosário do Sul e Grupo Passa Dois, aflorantes no setor sul da área. Este setor constitui área abatida topograficamente e para a qual convergem cursos de água oriundos da área do planalto, estabelecendo uma extensa cobertura de sedimentos cenozóicos sub-atuais e atuais (FIG. 10).

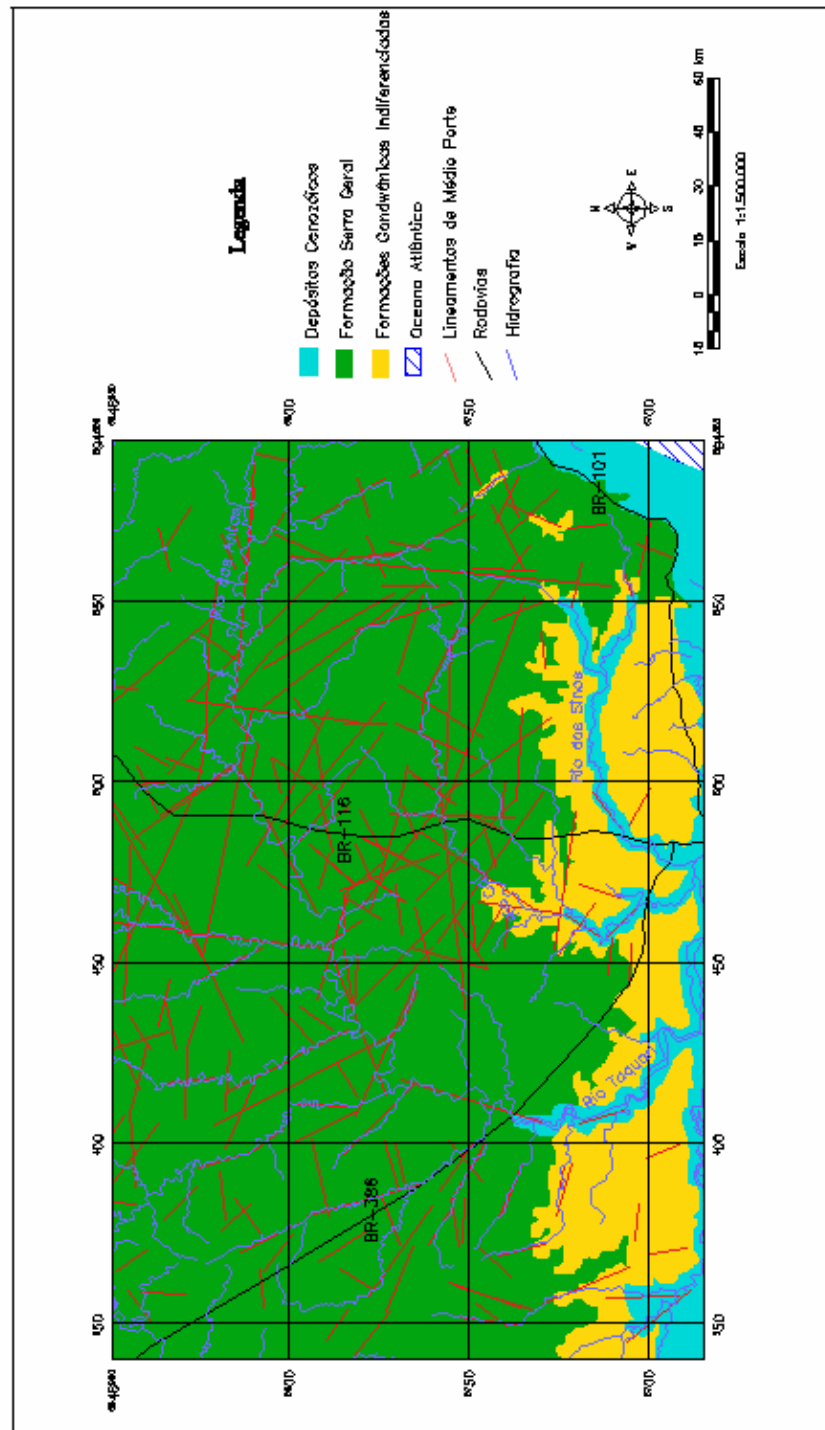


FIGURA. 10 - Mapa geológico simplificado da área de estudo.

Os trabalhos de campo realizados tiveram ênfase na avaliação dos movimentos tectônicos registrados no pacote vulcânico da Formação Serra Geral. Para tanto, buscou-se o estabelecimento de um nível-guia que permitisse estimar rejeitos de falha e a direção do movimento. Optou-se pelo contato entre a Formação Botucatu e a Formação Serra Geral, conferindo-se os resultados através de 06 perfis de orientação N-S ao longo da escarpa. Os perfis geológicos de poços tubulares mostraram-se também muito úteis na identificação da geologia de subsuperfície e de blocos tectono-estruturais.

Uma variável que deve ser considerada no estudo da movimentação estrutural é o paleorelevo da superfície de topo da Formação Botucatu, já que estudos registram paleodunas com alturas de até 100m (SCHERER, 1998), que podem erroneamente induzir ao registro de falhas subverticais com rejeitos desta ordem.

Compõem o pacote sedimentar gondwânico da área, a Formação Botucatu do Grupo São Bento, as Formações Santa Maria e Sanga do Cabral do Grupo Rosário do Sul (ANDREIS *et. al.* 1980) e a Formação Rio do Rasto do Grupo Passa Dois, cuja síntese litoestratigráfica é apresentada na TAB. 01. Deve-se ressaltar que a Formação Caturrita do Grupo Rosário do Sul não foi identificada na área em tela.

TABELA 01
Síntese da litoestratigrafia Permo-Cretácea no Rio Grande do Sul

<i>PERÍODO</i>	<i>GRUPO</i>	<i>FORMAÇÃO</i>	<i>SEQÜÊNCIAS DEPOSICIONAIS</i>	
Cretáceo Inferior	São Bento	Serra Geral	Rochas vulcânicas	<i>Seqüência Juro-Cretácica</i>
Jurássico Superior		Botucatu	IV Botucatu	
Triássico	Rosário do Sul	Caturrita	III Mata II Santa Maria	<i>Seqüência Meso-Neotriássica</i>
		Santa Maria		
		Sanga do Cabral		
Permiano	Passa Dois	Rio do Rasto	I Sanga do Cabral / Rio do Rastro	<i>Seqüência Neopermiana – Eotriássica</i>
----- Grupos Passa Dois inferior, Guatá e Itaré indivisos				

FONTE: Modificado de Faccini (2000).

A descrição sintética das unidades aflorantes na área é apresentada a seguir, com ênfase nas características paleoambientais, mineralógicas e estruturais, que podem contribuir para a compreensão do contexto hidrogeológico e hidroquímico.

5.1. Grupo Passa Dois

5.1.1. Formação Rio do Rasto

O Grupo Passa Dois representa de maneira geral uma seqüência regressiva, com argilitos, folhelhos e siltitos na base gradando para arenitos no topo. A Formação Rio do Rasto, que é a única representante deste grupo na área de estudo, é composta por arenitos avermelhados, violáceos ou esbranquiçados, de granulometria fina a média, intercalados com argilitos e siltitos de mesma coloração. As estruturas sedimentares presentes nesta formação, como estratificação cruzada acanalada, laminação cruzada e paralela e formas lenticulares de corpos arenosos identificam a deposição em paleoambiente continental sob clima oxidante.

5.2. Grupo Rosário do Sul

5.2.1. Formação Sanga do Cabral

A Formação Sanga do Cabral (ANDREIS, 1980), cuja idade a partir de registros fósseis é compreendida entre o final do Permiano ao Triássico Inferior (LAVINA; SCHERER, 1997), constitui a unidade basal do Grupo Rosário do Sul, consistindo essencialmente de arenitos líticos a arcoseanos médios a finos com menores proporções de arenitos grossos. Ruditos são menos frequentes e compreendem brechas, conglomerados intraformacionais e ortoconglomerados polimíticos (raros). Pelitos são escassos e consistem em siltitos e siltitos argilosos, com raros argilitos. Concreções carbonáticas ocorrem esporadicamente nas fácies intraformacionais e arenosas.

As litologias possuem cores avermelhadas, castanho-avermelhadas ou alaranjadas, raramente acinzentadas ou esbranquiçadas, identificando paleoambiente oxidante dominante, interpretado como deposição em canais fluviais meandrantos.

O contato inferior da unidade é transicional com a Formação Rio do Rasto, enquanto o superior é definido por superfícies erosivas sobre as quais assentam arenitos fluviais da Formação Santa Maria e depósitos eólicos da Formação Botucatu.

5.2.2. Formação Santa Maria

A Formação Santa Maria (BORTOLUZZI, 1974; ANDREIS *et al.*, 1980) é constituída por duas unidades litoestratigráficas, não individualizadas nos trabalhos de campo realizados no presente estudo. A unidade inferior é denominada Membro Passo das Tropas, representado por arenitos médios e grossos com estratificação cruzada, recobertos por pelitos síltico-argilosos maciços, vermelhos ou lilases e escassos ruditos. A unidade superior da Formação é constituída pelo Membro Alemoa, de caráter quase exclusivamente pelítico (MONTARDO, 1982).

Os arenitos do Membro Passo das Tropas mostram caráter arcoseano, com teores de feldspatos da ordem de 20% e escassas micas. Níveis de arenitos conglomeráticos são igualmente registrados. Os pelitos são representados por siltitos arenosos ou argilosos, com registros fossilíferos de vegetais, conchostáceos e insetos (MONTARDO, 1982). O paleoambiente correspondente a este membro é de depósitos de preenchimento de canais fluviais perenes de moderada a baixa sinuosidade, sendo as fácies finas correspondentes a planícies de inundação.

O Membro Alemoa é composto por siltitos argilosos micáceos vermelhos, com lentes de arenitos localizadas (BORTOLUZZI, 1974). Os pelitos apresentam-se maciços e relativamente homogêneos, contendo abundante esmectita, enquanto illita e cloritas ocorrem subordinadamente. Calcretes e septárias silicificadas aparecem com relativa frequência, enquanto concreções de sulfatos (gipsita) e de ferro e manganês são relativamente raras e podem conter películas de malaquita. Este Membro foi depositado em condições de planícies de inundação e corpos lagunares, submetidos a regime climático com alternância de estações úmidas e secas.

5.3. Grupo São Bento

5.3.1. Formação Botucatu

A Formação Botucatu é constituída por arenitos quartzosos a subarcoseanos de cor avermelhada e composição relativamente homogênea decorrente do transporte eólico, formando extenso deserto de paleodunas. A área total da ordem de 1.500,000 Km² abrange quatro países na América do Sul (Uruguai, Paraguai, Argentina e Brasil) e vários estados brasileiros (RS, SC, PR, SP, MG, GO, MS). Na Namíbia também há registro desta formação, recebendo o nome local de Formação Etjo. A área de afloramento da Formação Botucatu é relativamente pequena se comparada com a extensão, pois, em boa parte, os arenitos estão recobertos pela Formação Serra Geral. A espessura do pacote sedimentar é variável, sendo em alguns locais representado por uma única duna (SCHERER *et. al.*, 2000), mas em outros alcança espessuras de até 100 metros.

Os arenitos da Formação Botucatu têm o início de sua história na transição do Jurássico para o Cretáceo. O sentido de transporte das areias e migração das dunas se deu para nordeste, sugerindo que a área fonte estava a oeste/sudoeste (BIGARELLA & SALAMUNNI, 1961; FACCINI, 1989; SCHERER, 1998) e constituíam leques que se desenvolveram nas encostas das cadeias de montanhas existentes ao longo da borda oeste do Gondwana (SCHERER *et al.*, 2000).

A Formação Botucatu é constituída no Rio Grande do Sul por três associações faciológicas, a primeira composta por arenitos grossos a conglomeráticos,

interpretados como depósitos de lençóis de areia e fluxos torrenciais, que ocorrem na forma de lentes descontínuas com espessura máxima de 1 metro. A segunda é constituída por arenitos com estratos cruzados, vinculados à migração de dunas crescentes simples a localmente compostas. A terceira associação é também composta por arenitos com estratos cruzados, vinculados à migração de dunas lineares complexas (SCHERER, 1998).

O final da sedimentação dos arenitos se deu concomitantemente com o início do vulcanismo Serra Geral, gerando lentes de arenitos interderrames, com espessuras variáveis, de 1 a 40m, localmente endurecidos por ação térmica e com feições de interação física com as rochas vulcânicas na base e no topo (FIG. 11 e 12). Diques de areia e bolsas de arenito com contato difuso dentro das rochas vulcânicas são comuns nos derrames mais basais da Formação Serra Geral, o que demonstra o estado subsólido das lavas.

FIGURA 11 - Lente de arenito interderrame em corte da Rota do Sol, nas proximidades do Arroio Bernardes e Arroio do Padre. No topo do afloramento, blocos marcam a presença de colúvios quaternários.



FIGURA 12 – Injeção de arenito em forma de bolsa com contato difuso em topo de derrame, demonstrando que a sedimentação ocorria enquanto as lavas ainda não haviam cristalizado totalmente.



5.3.2. Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral representa uma das maiores manifestações vulcânicas continentais da história geológica e está associada à tectônica distensiva de ruptura do Supercontinente Gondwana, formando espesso pacote de lavas básicas toleíticas. Esse evento é relacionado à fusão parcial do manto astenosférico e da crosta continental, que ocorreu devido a mecanismos de descompressão resultantes da ação de plumas mantélicas que atuaram na ruptura continental. Há províncias similares do Proterozóico ao Cenozóico, mas é no Mesozóico (STEWART *et al.*, 1996; COURTILOT *et al.*, 1986; ERLANK, 1984) que se encontram as mais significativas.

Os vulcanitos da Bacia do Paraná, na América do Sul, e de Etendeka, na Namíbia, foram originados como uma província magmática única no Eocretáceo. O

assim chamado magmatismo Paraná-Etendeka abrange uma área aproximada de 1.200.000 km², cobrindo parcialmente quatro países na América do Sul (Uruguai, Paraguai, Argentina e Brasil), e uma área de 80.000 km² no sudoeste da África. A espessura total do pacote vulcânico é em média de 800m, mas são registradas espessuras de até 1500m no eixo maior da Bacia do Paraná.

O pacote vulcânico está sobreposto discordantemente sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu (Formacion Tacuarembó no Uruguai, e sobre a Etjo Formation na Namíbia), mas pode ocorrer localmente sobre o Grupo Rosário do Sul (Triássico), sobre o Grupo Passa Dois (Permiano) no limite meridional da Bacia do Paraná, inclusive na área estudada, e sobre o embasamento Pré-Cambriano na região setentrional. Dados radiométricos pelo sistema ⁴⁰Ar/³⁹Ar indicam, na maioria dos perfis, duração da ordem de 1 Ma para o evento magmático e idades da ordem de 130 Ma.

O vulcanismo Mesozóico da Formação Serra Geral no conjunto da Bacia do Paraná é compartimentado em três províncias geoquímicas, a província setentrional, ao norte do Lineamento do Rio Piquiri; a província meridional, ao sul do Lineamento do Rio Pelotas e que incorpora a área em foco; e a província central, entre as duas anteriores mencionadas (BELLIENI *et. al.*, 1984). A província setentrional é representada predominantemente por basaltos e andesi-basaltos alto-TiO₂, com vulcânicas ácidas riodacíticas de caráter porfirítico, denominadas tipo Chapecó com ocorrência mais limitada, ao sul do Estado de São Paulo. A província meridional é constituída por basaltos e andesi-basaltos predominantemente baixo-TiO₂ e riodacitos afíricos de caráter ignimbrítico denominados tipo Palmas, estes aparecendo como cobertura da seqüência básica, com a qual aparecem intercalados na região norte do Rio Grande do Sul (FIG.

13). A província central contém basaltos e andesi-basaltos dos dois tipos e, igualmente, os dois litotipos de riodacitos.

FIGURA 13 – Afloramento de ignimbrito tipo Palmas no município de Nova Roma, RS.



Os basaltos e andesi-basaltos, tanto baixo como alto-TiO₂ são afíricos a subafíricos, com menos de 5% do volume de fenocristais e microfenocristais, com mineralogia essencialmente de plagioclásio labradorítico e piroxênio (augita e pigeonita). Como acessórios relativamente abundantes aparecem minerais metálicos (titano-magnetita e ilmenita), vidro vulcânico intersertal e raras olivinas, em geral totalmente pseudomorfisada a argilo-minerais, e apatita. Nas amígdalas a mineralogia é composta por zeolitas, apofilita, ametista, calcedônia, ágata, opala, calcita, selenita, cobre nativo e outros minerais raros.

De uma maneira geral o magmatismo da Bacia do Paraná pode ser considerado bimodal, com escassos termos intermediários entre os pólos básicos e ácidos. Em todos os casos, estudos isotópicos permitem admitir que a origem do pacote

ácido, que atinge localmente 350 metros, se dá por fusão da crosta continental, favorecida pelo adelgaçamento litosférico, durante o processo de rifteamento (ROISENBERG & VIERO, 2000).

A atitude regional do pacote vulcânico é ligeiramente mergulhante para oeste, na direção do eixo da bacia, com ângulos menores que 5°. A espessura dos derrames é controlada pelo paleorelevo, sendo, em média de 15 a 20 metros, nos derrames básicos, enquanto as unidades ácidas, de caráter ignimbrítico possuem 30 a 50 metros de espessura. A espessura do pacote, em seu conjunto básico-ácido, cresce de oeste para leste, com valores máximos de 950 metros na zona da escarpa oriental, na qual cerca de 600 metros são de basaltos e andesi-basaltos e 350 metros correspondentes às unidades ácidas.

O perfil ideal de um derrame básico conteria, da base para o topo, uma zona densa e parcialmente vítrea, seguida de uma zona de diaclasamento tabular. A parte central do derrame é a mais volumosa, sendo constituída por uma zona massiva ou de fraturamento colunar, sobreposta por uma zona de diaclasamento tabular e no topo do derrame o basalto passa a amigdalar (LEINZ, 1949) (FIG. 14).

FIGURA 14 – Feição de topo do derrame, amígdalas preenchidas por calcita, zeolitas, quartzo e seus pseudomorfos.



As unidades ácidas são tabulares e homogêneas longitudinalmente, possuindo espessura média de 40 metros e extensão de 30 a 60 km (FIG. 15). A forma tabular em grande extensão e a presença de texturas localmente tufáceas, indicam o caráter ignimbrítico de alta temperatura (ROISENBERG & VIERO, 2000). O perfil típico da unidade ácida contém vitrófiros descontínuos na base, intercalados com brechas de fluxo sem padrão definido, correspondendo a 5-10% da espessura total da unidade. Esta porção é sobreposta por granófiros com diaclasamento tabular fino, sobreposta por uma zona massiva e com pouco fraturamento, que constitui a zona mais espessa da unidade ácida. Segue-se, em direção ao topo, nova zona tabular que passa progressivamente a uma brecha de fluxo com intercalação de lentes de vitrófiros e, no topo, a rocha passa a ter caráter amigdalar.

FIGURA 15 – Topo dos morros formado por um derrame ácido contínuo lateralmente. Vale do Rio das Antas.



Petrograficamente, os riodacitos do tipo Palmas são afíricos e contém escassos fenocristais e microfenocristais de plagioclásio andesina, piroxênios (augita e pigeonita), titano-magnetita. Apatita e ortopiroxênio são raros. A matriz dos granófiros contém uma complexa trama quartzo-feldspática de caráter micrográfico, podendo conter hornblenda uralítica. Os riodacitos tipo Chapecó possuem a mesma mineralogia, distinguindo-se pela abundância e dimensões dos fenocristais, que podem atingir 15% em volume e até 8 mm de comprimento.

5.4. Depósitos Cenozóicos

Estas unidades, aflorantes principalmente no sul-sudeste da área de estudo e nas calhas dos principais rios, foram depositadas a partir do Pleistoceno e estão

relacionadas ao sistema deposicional da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Constituem sedimentos inconsolidados com textura e estrutura variada, constituindo leques aluviais e, no limite sudeste da área estudada, variadas fácies sedimentares pertencentes ao sistema laguna-barreira.

No sistema de leques aluviais os depósitos são resultantes de processos gravitacionais na parte proximal, que gradua para depósitos de meio aquoso na parte distal. Estão presentes principalmente nas calhas dos rios e planícies de inundação, localizados na Unidade Geomorfológica da Escarpa e na Unidade Geomorfológica da Sedimentação. Na parte proximal constituem fácies tipo conglomerado, diamictito, arenito conglomerático, arenito e lamito, maciços ou com estratificação acanalada. Na parte distal ocorrem fácies tipo areia grossa fina a média, cascalho, sedimento siltico-argiloso e turfeira.

O sistema laguna-barreira é representado predominantemente pelos depósitos da Laguna e da Barreira Pleistocênica 1 e subordinadamente pelos depósitos dos outros três sistemas laguna-barreira subsequentes. Nos depósitos referentes à barreira ocorrem fácies areia fina a média, com as estruturas sedimentares primárias mascaradas por processos pós-deposicionais que afetaram a barreira. Na parte da laguna ocorrem areia siltico-argilosa e lamito com laminação plano-paralela incipiente e turfas.

6. A TECTÔNICA RÚPTIL NA ÁREA EM ESTUDO

A tectônica rúptil constitui um importante condicionante das características hidrogeológicas e hidroquímicas, como demonstram estudos no Sistema Aquífero Guarani (MACHADO, 2005) e, de forma similar, no Sistema Aquífero Serra Geral.

6.1. Lineamentos na área de estudo

O trabalho de aerofotointerpretação de imagens de satélite na área em estudo permitiu definir e traçar um total de 1676 lineamentos tectônicos, em sua grande maioria subverticais (FIG. 16). Representados graficamente produzem imagem extremamente poluída e de difícil interpretação (FIG. 17). Com a finalidade de realizar um tratamento analítico dos resultados foram feitas filtragens de direção e tamanho e confeccionados diagramas de rosetas e mapas de densidade de lineamentos em vários níveis.

FIGURA 16 – Fraturamento tectônico subvertical em unidade ácida ignimbrítica próximo a cidade de Nova Petrópolis.



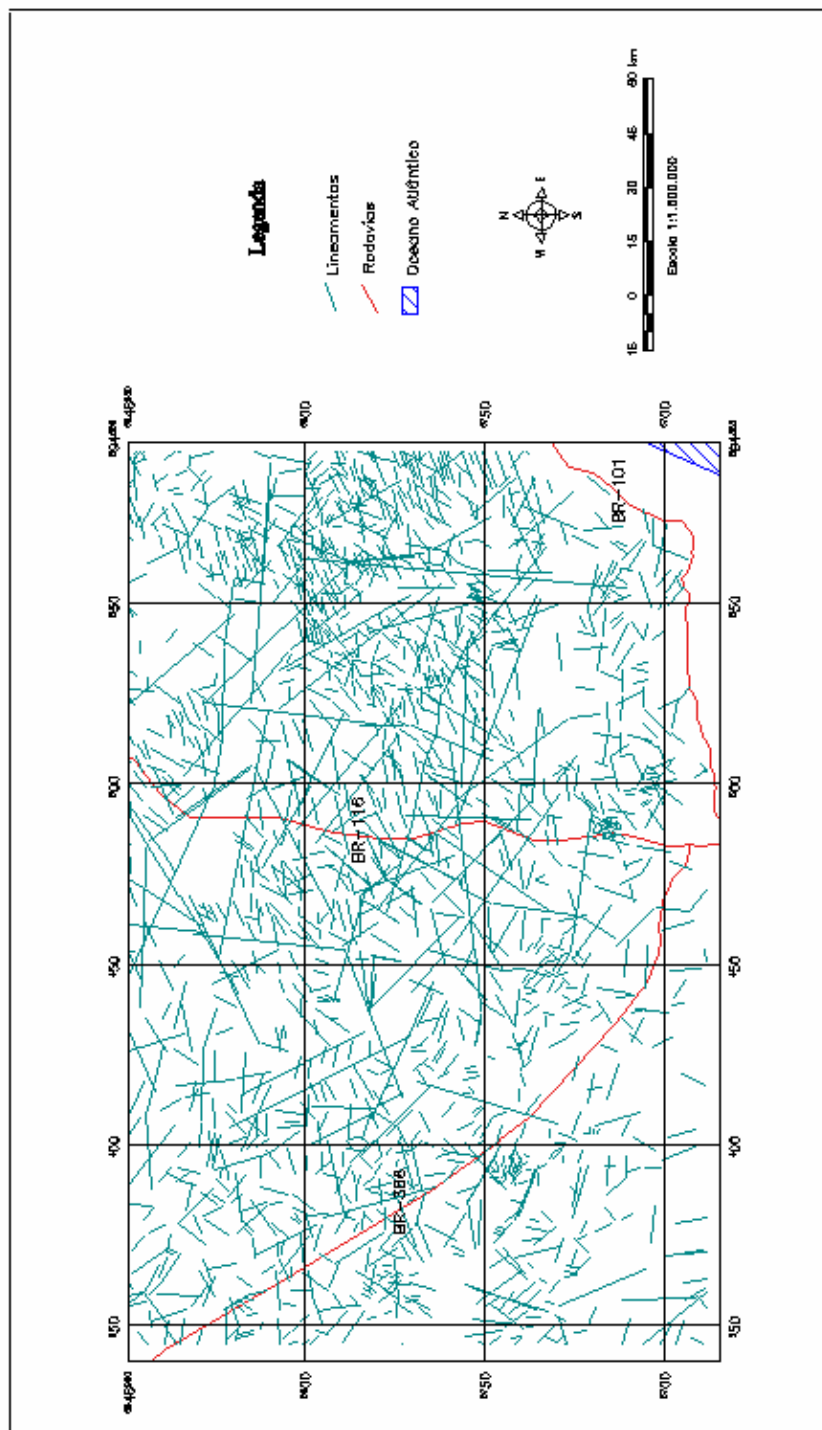
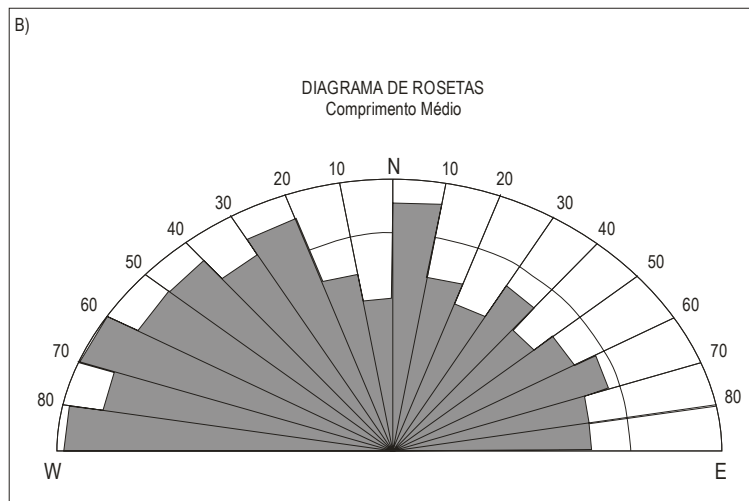
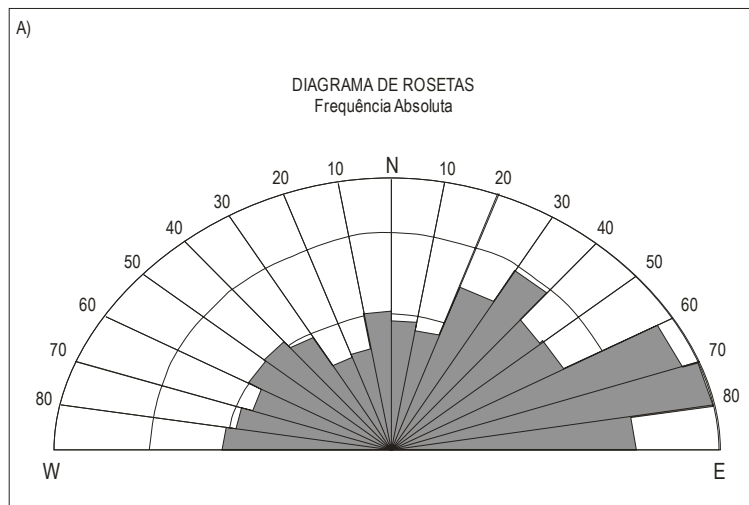


FIGURA. 17 - Mapa da totalidade dos lineamentos insuportos na área de estudo. Estruturas maiores que 100km foram identificadas pela contiguidade de lineamentos.

Inicialmente foi representada a totalidade dos lineamentos, obtendo-se o diagrama de rosetas e o mapa de densidade correspondente, a filtragem de tamanho foi definida a partir dos grupos de pequeno porte (<10km) e médio porte (10 a 100km), os trabalhos permitiram organizar diagramas de rosetas e mapas de densidade de lineamentos por direção e tamanho das fraturas (FIG. 18 a 26).

Não foram identificados lineamentos de grande porte (>100km) de caráter contínuo em superfície. Entretanto, a análise integrada dos lineamentos nos mapas, a partir das imagens de satélite, identificou a existência de dois sistemas de fraturas transversais que dividem a área em estudo, sendo denominados Sistema de Falhas Terra de Areia-Posadas (SFTA-P) e Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu (SFDC) (FRASCA E LISBOA, 1993; MACHADO, 2005) e que são ilustrados nas FIG. 16 e 27. Estes dois sistemas provavelmente representam a reativação de estruturas presentes no Escudo Cristalino subjacente. A importância hidrogeológica e hidrogeoquímica destes sistemas ficou demonstrada na apresentação dos resultados de Machado (2005).

FIGURA 18 – Diagramas de rosetas da totalidade dos lineamentos da área de estudo.
A) Diagrama de frequência absoluta; B) Diagrama de comprimento médio.



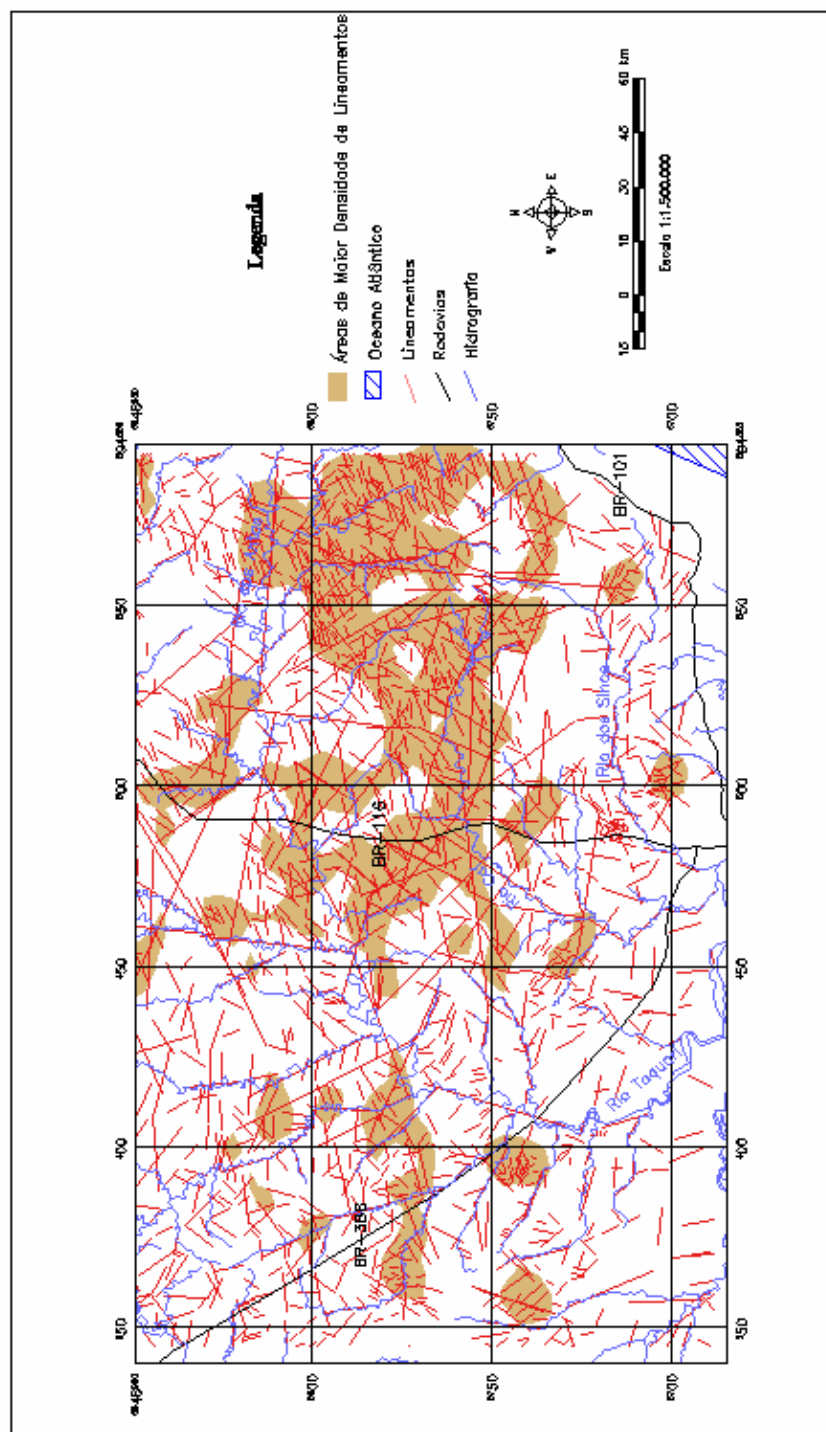


FIGURA. 19 - Mapa de densidade de todos os lineamentos.

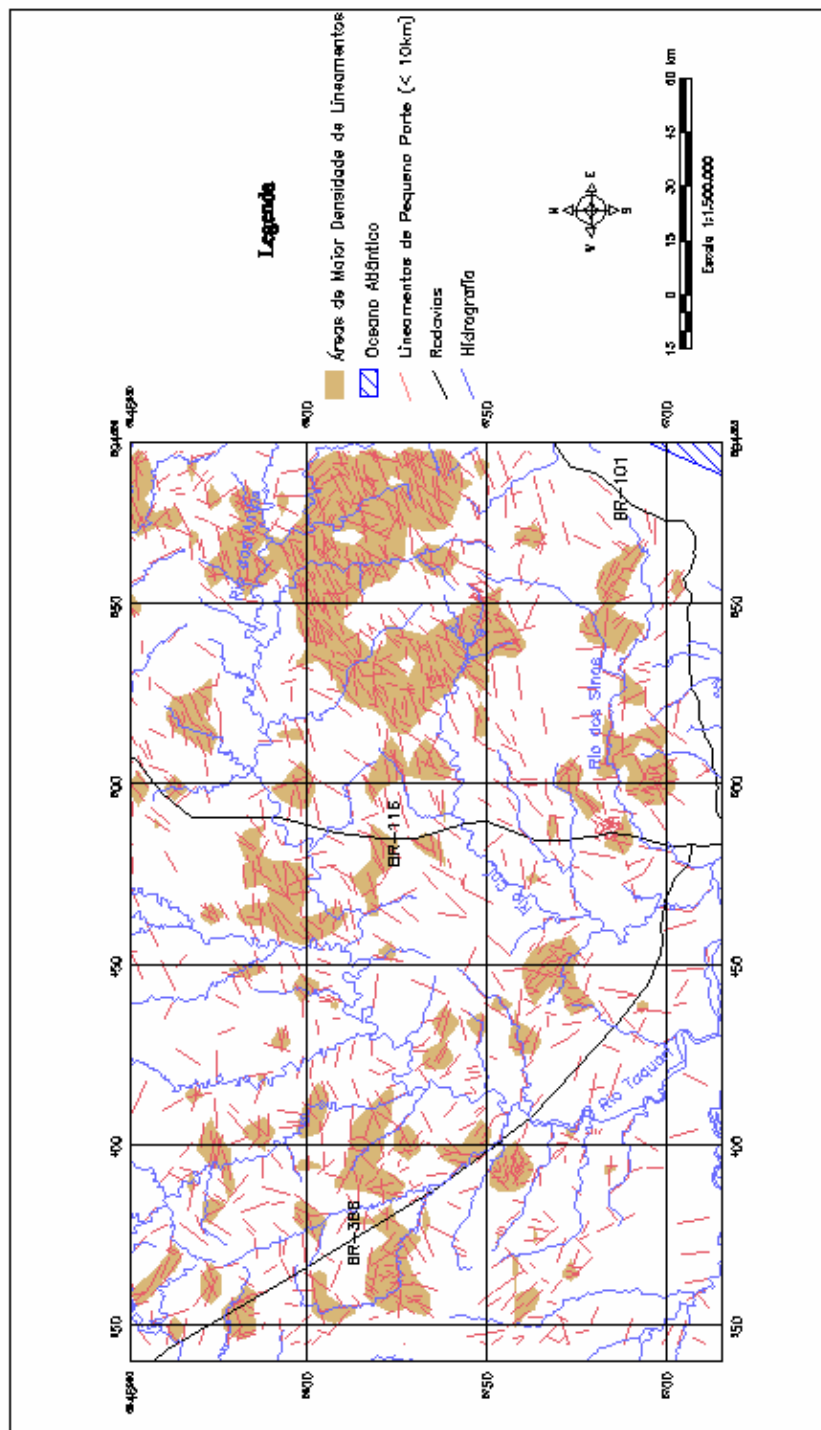


FIGURA. 20 - Mapa de densidade dos lineamentos de pequeno porte (<10km).

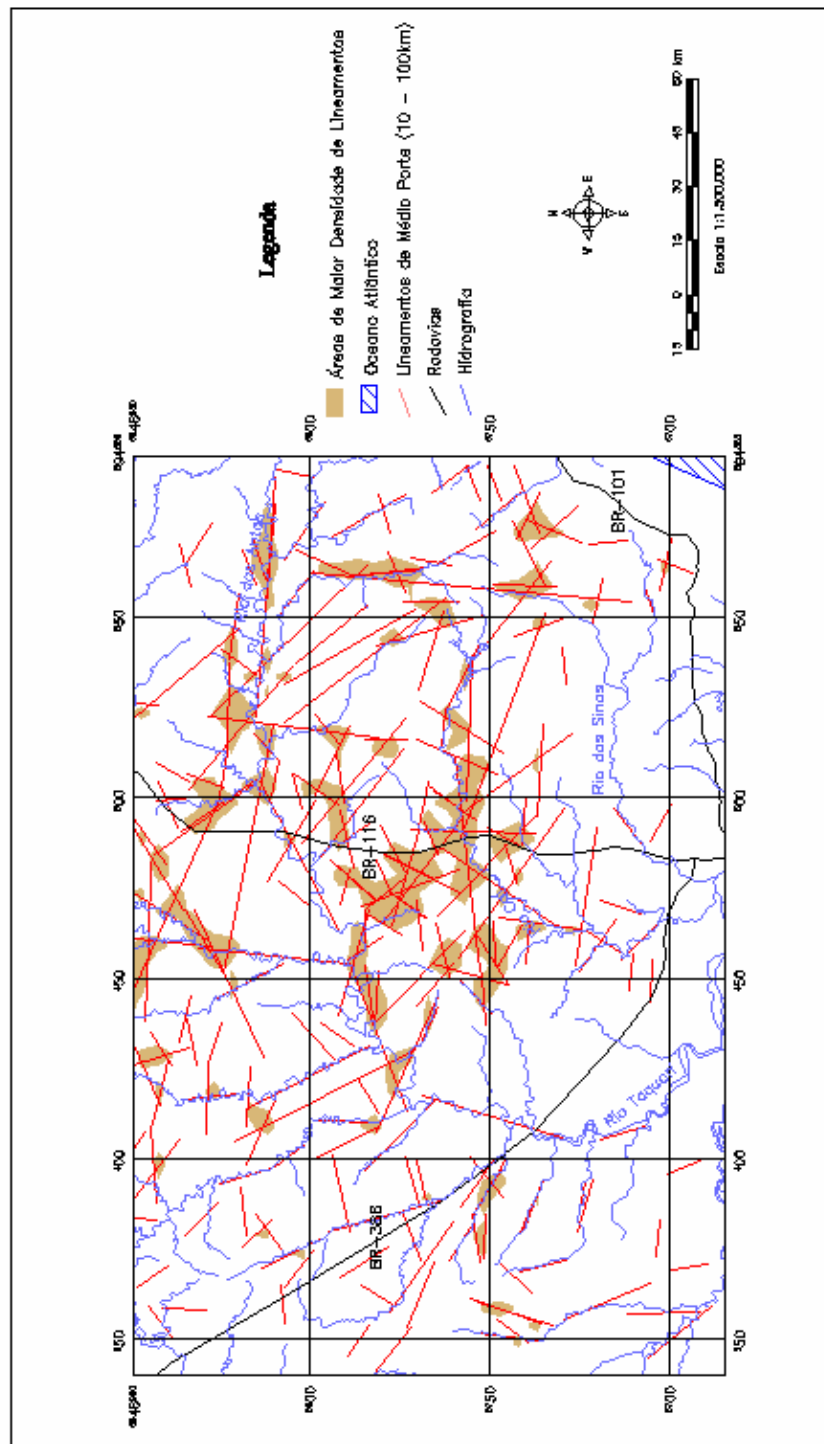
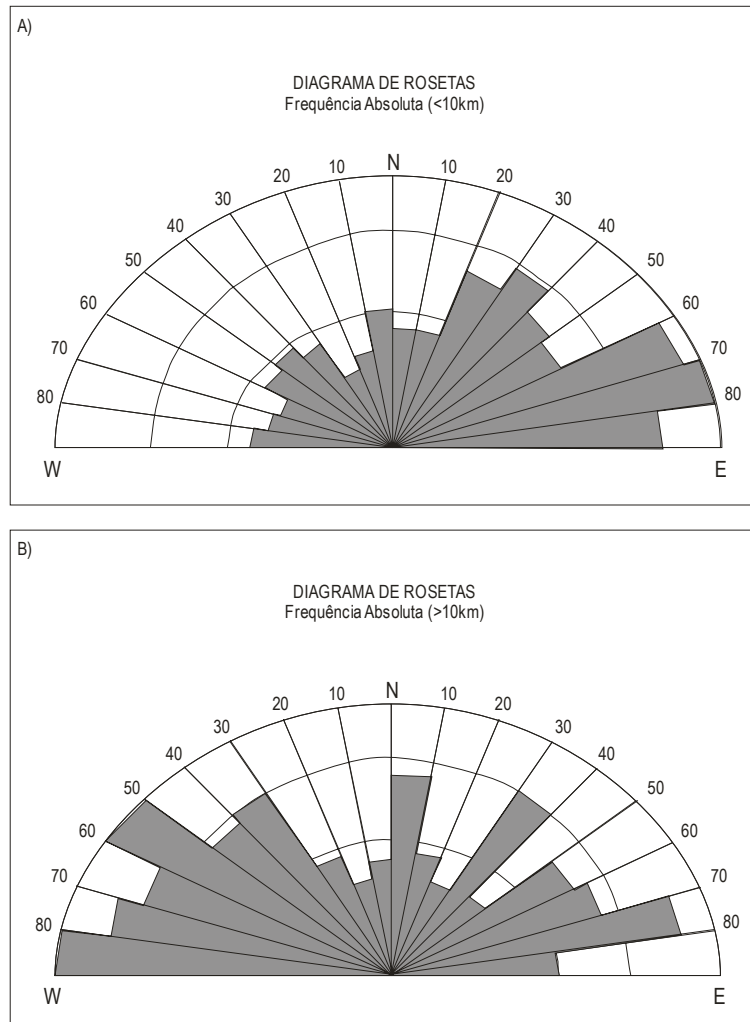


FIGURA 21 - Mapa de densidade dos linearmentos de médio porte (10 - 100km).

FIGURA 22 – Diagramas de rosetas de frequência absoluta. A) Lineamentos de pequeno porte (< 10km); B) Lineamentos de médio porte (10 a 100km).



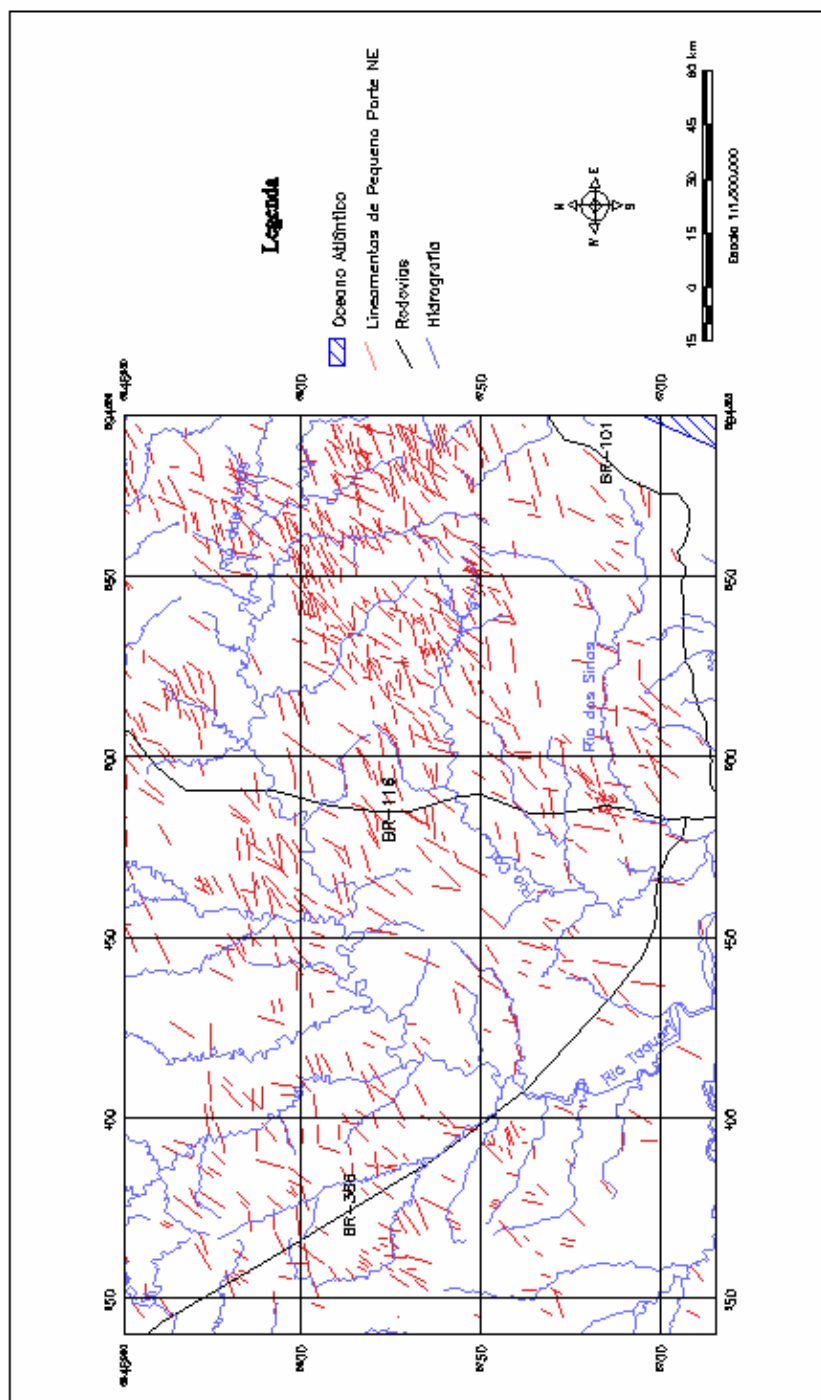


FIGURA 23 - Distribuição especial dos lineamentos de pequeno porte NE.

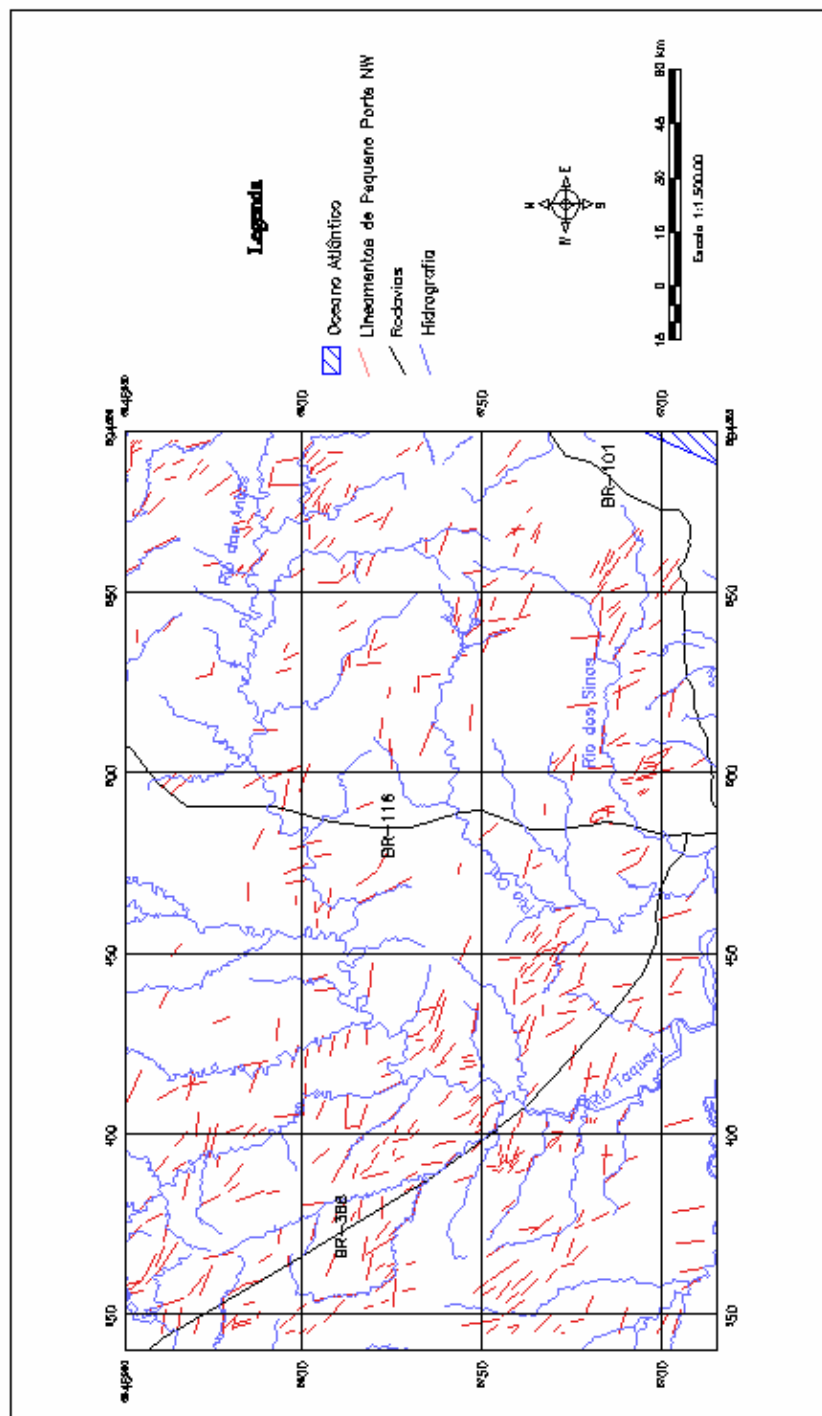


FIGURA 24 - Distribuição espacial dos lineamentos de pequeno porte NW.

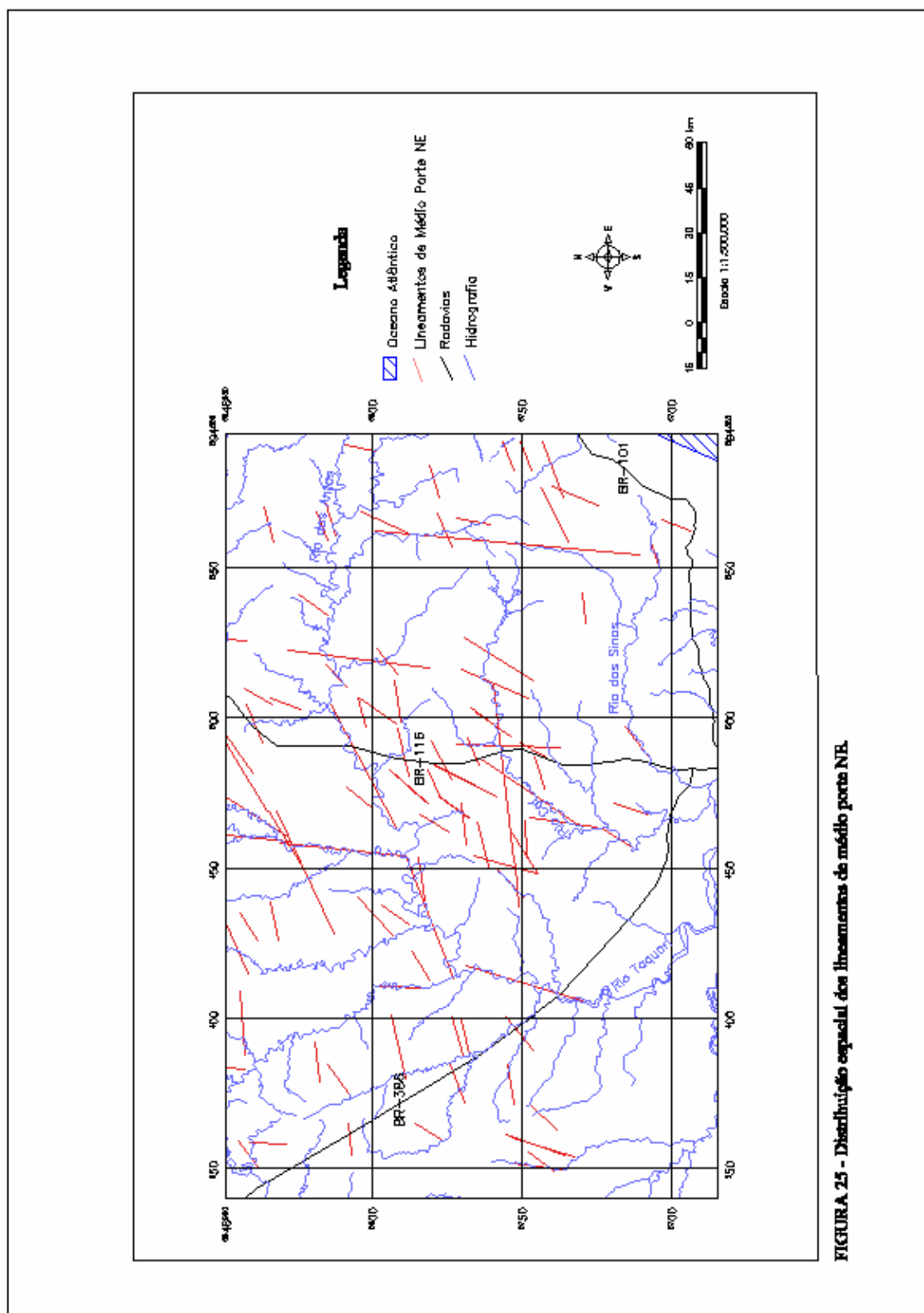


FIGURA 25 - Distribuição espacial dos alinhamentos de médio porte NE.

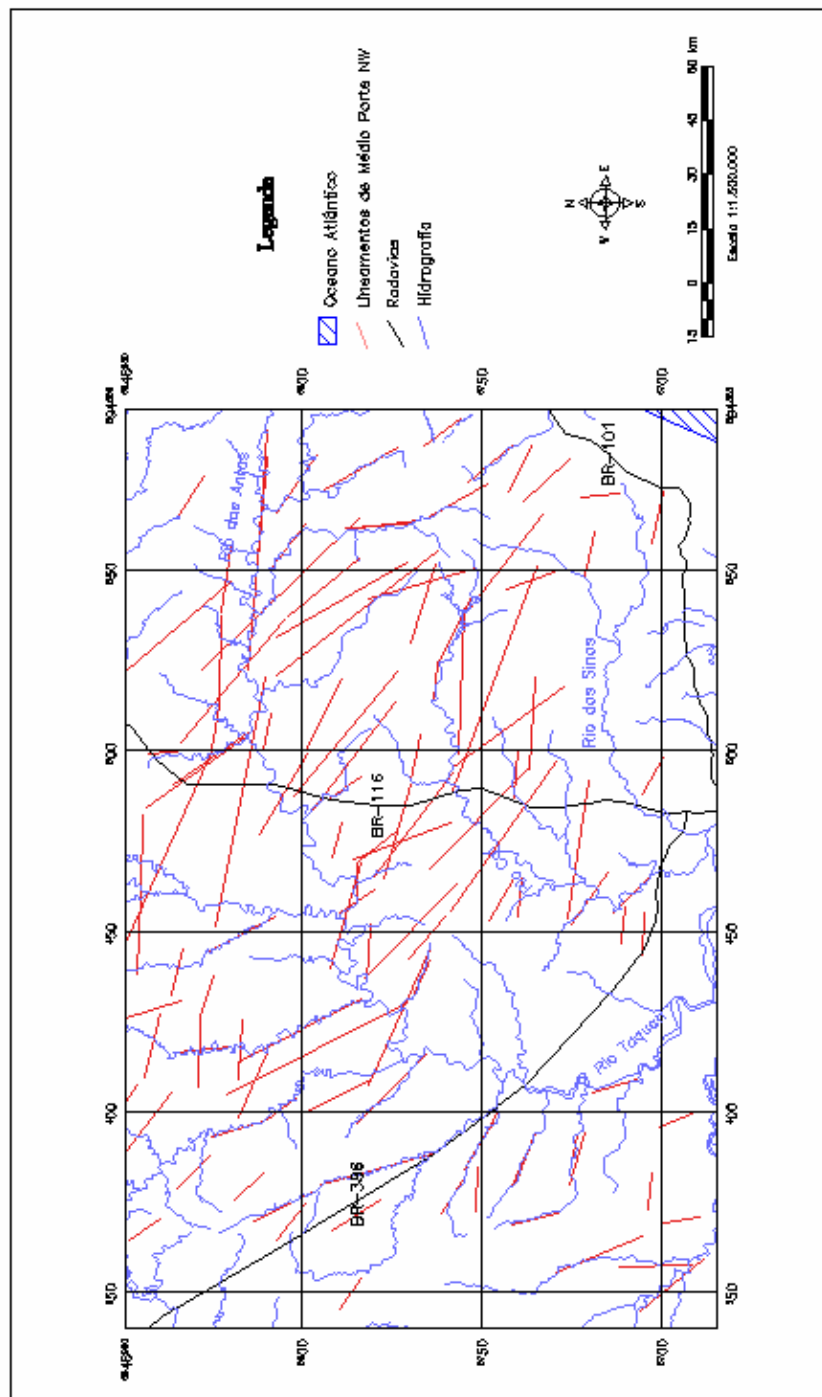


FIGURA 26 - Distribuição espacial dos lineamentos de médio porte NW.

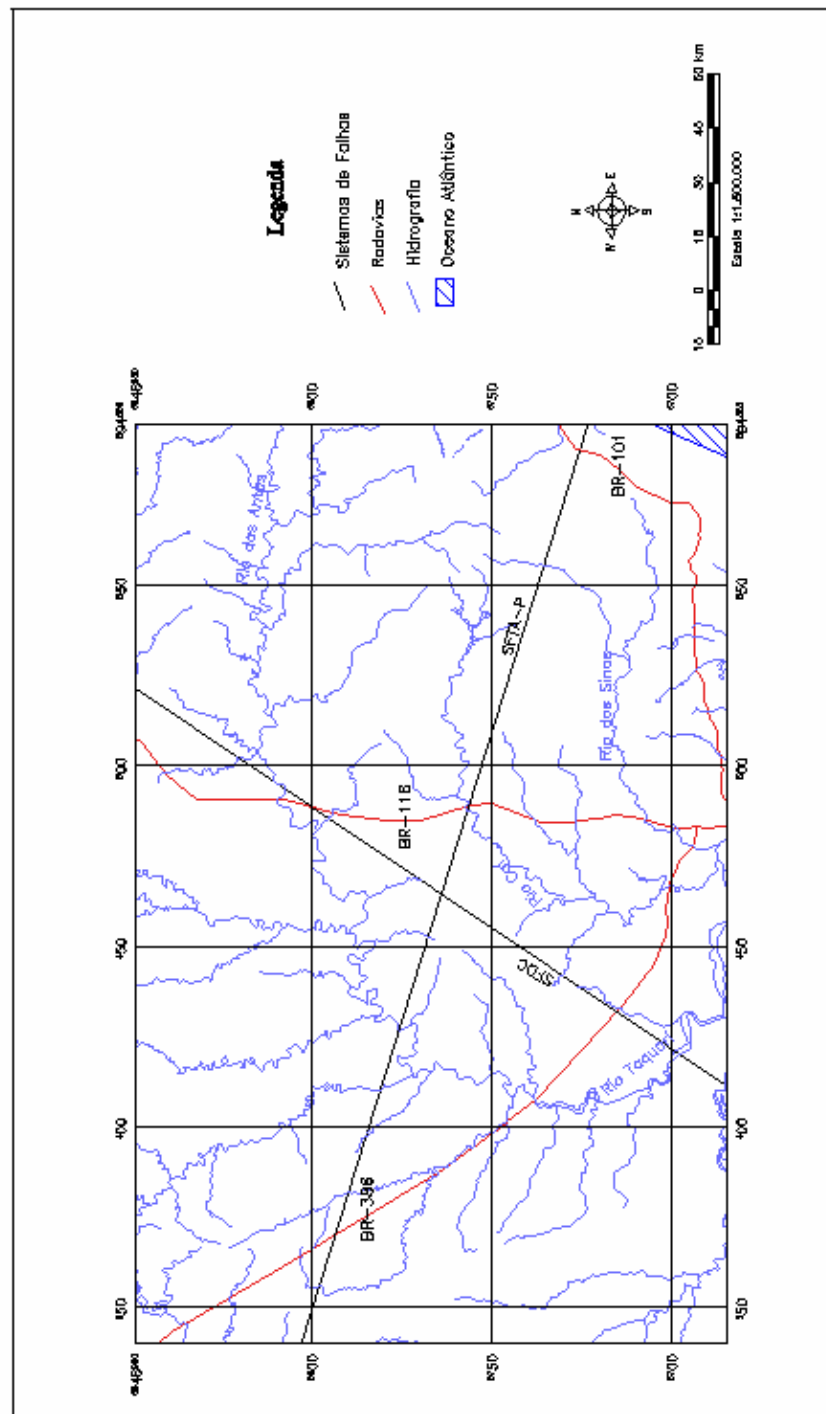


FIGURA 27 - Linhasamentos regionais que compõem o SAG, conforme Machado (2005). SF7A-P (Sistema de Falhas Terra de Areia-Pesadas); SFDC (Sistema de Falhas Daxyl de Camuça).

A FIG. 18a demonstra que os lineamentos NE são os mais abundantes, dominando entre N60E e N80E, enquanto na FIG. 18b verifica-se que os lineamentos de direção NW são os de maior porte. A FIG. 19 identifica a porção centro-leste da área de estudo, na região de Caxias do Sul, Nova Petrópolis e São Vendelino, como a mais afetada pela tectônica rúptil.

A distribuição espacial dos lineamentos de pequeno porte demonstra uma concentração à leste da área, nas adjacências da borda da escarpa do planalto (FIG. 20), havendo domínio da direção N60E e N80E (FIG. 22a), à semelhança do observado na FIG. 17. A filtragem de direção (FIG. 23 e 24) torna evidente que os lineamentos de direção NE concentram-se no setor leste da área, próximo à escarpa, enquanto os de direção NW, em menor número, concentram-se no setor oeste da área.

Os lineamentos de médio porte, por sua vez, apresentam sua maior concentração na porção central da área, correspondente à região de Caxias do Sul e Bento Gonçalves (FIG. 21). O diagrama de rosetas correspondente mostra o domínio dos lineamentos N50W a N90W nesta categoria (FIG. 22b). O mapa de fraturas identifica que os lineamentos deste porte e que possuem direção NW encontram-se distribuídos de forma relativamente homogênea na área de estudo (FIG. 26), enquanto os de direção NE são mais concentrados na porção centro-norte da área, (FIG. 25).

6.2. Compartimentação Tectono-Estrutural da Área

Como um dos objetivos principais deste trabalho, a individualização de blocos tectono-estruturais é de fundamental importância para o entendimento das condicionantes dos sistemas aquíferos. A identificação destes blocos foi baseada no cruzamento de dados dos perfis geológicos de campo com os lineamentos traçados nas imagens, complementado por informações bibliográficas e com as características hidroquímicas das águas subterrâneas.

É importante ressaltar que os dados de modelamento do contato estão baseados, principalmente, nos afloramentos da região da escarpa, que representa 1/3 da área de estudo. No restante da área, coberta pela Formação Serra Geral, o modelamento foi inferido e baseado em referências bibliográficas, até porque são raros os poços tubulares perfurados em regiões de rochas vulcânicas que alcançam as rochas sedimentares subjacentes.

Comparando o mapa de lineamentos de médio porte da FIG. 21 com os perfis de campo, visualizados nas FIG. 28 e 29, foi possível identificar três alinhamentos (ou fraturamentos) regionais que compartimentam a área de estudo em quatro blocos tectono-estruturais, denominados informalmente de Bloco Cambará, Bloco Caxias, Bloco São Vendelino e Bloco Lageado (FIG. 30). Os alinhamentos são marcados por lineamentos de pequeno e médio porte contíguos, com orientação NE entre zero e 40° e estão definidos como o Alinhamento Rolante, Alinhamento Caí e Alinhamento Turvo.

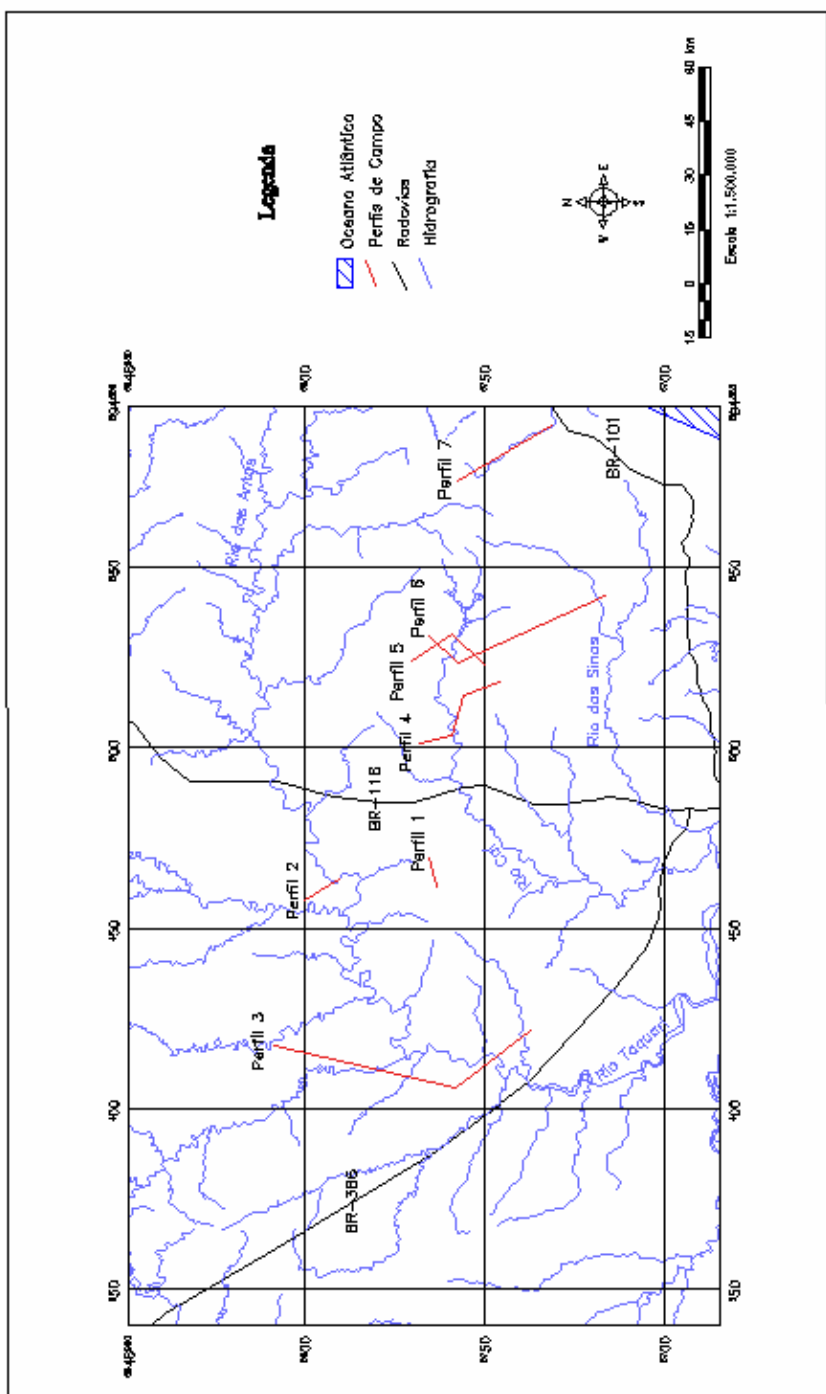


FIGURA 28 - Localização dos perfis de campo.

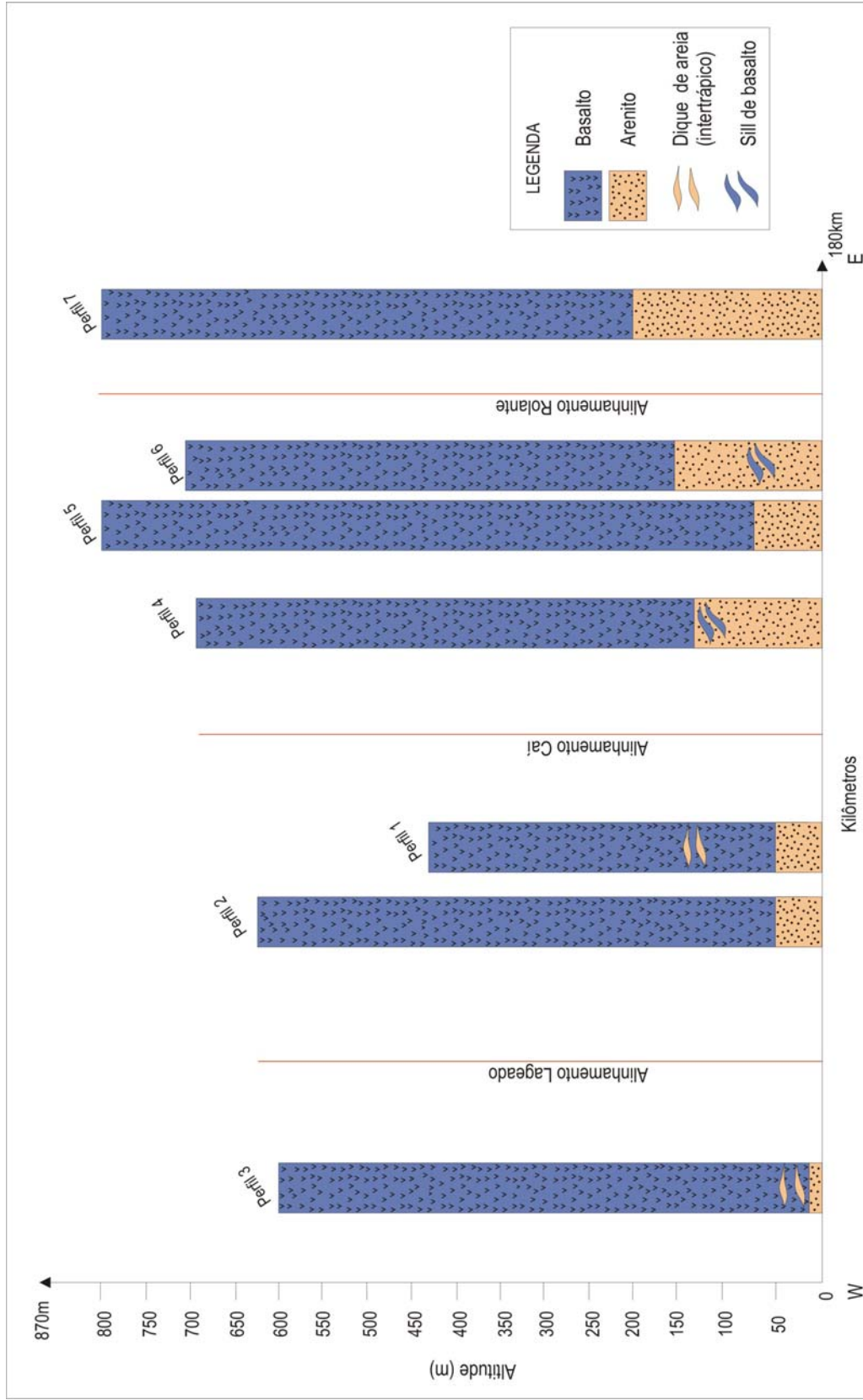


FIGURA 29 - Perfis dos contatos entre a Formação Botucatu e a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. Perfil 1 - município de São Vendelino (coordenada x 465000); perfil 2 - entre Farpouilha e Nova Roma do Sul (coordenada x 460000); perfil 3 - de Estrela à Guaporé (coordenada x 414000); perfil 4 - de Três Coroas à Nova Petrópolis (coordenada x 511000); Perfil 5 - de São Francisco de Paula à Três Coroas (coordenada x 527000); perfil 6 - de Taquara a São Francisco de Paula (coordenada x 534000); perfil 7 - de Maquiné a São Francisco de Paula (coordenada x 571000). No perfil também identificam-se os alinhamentos limitrofes dos blocos tectônicos.

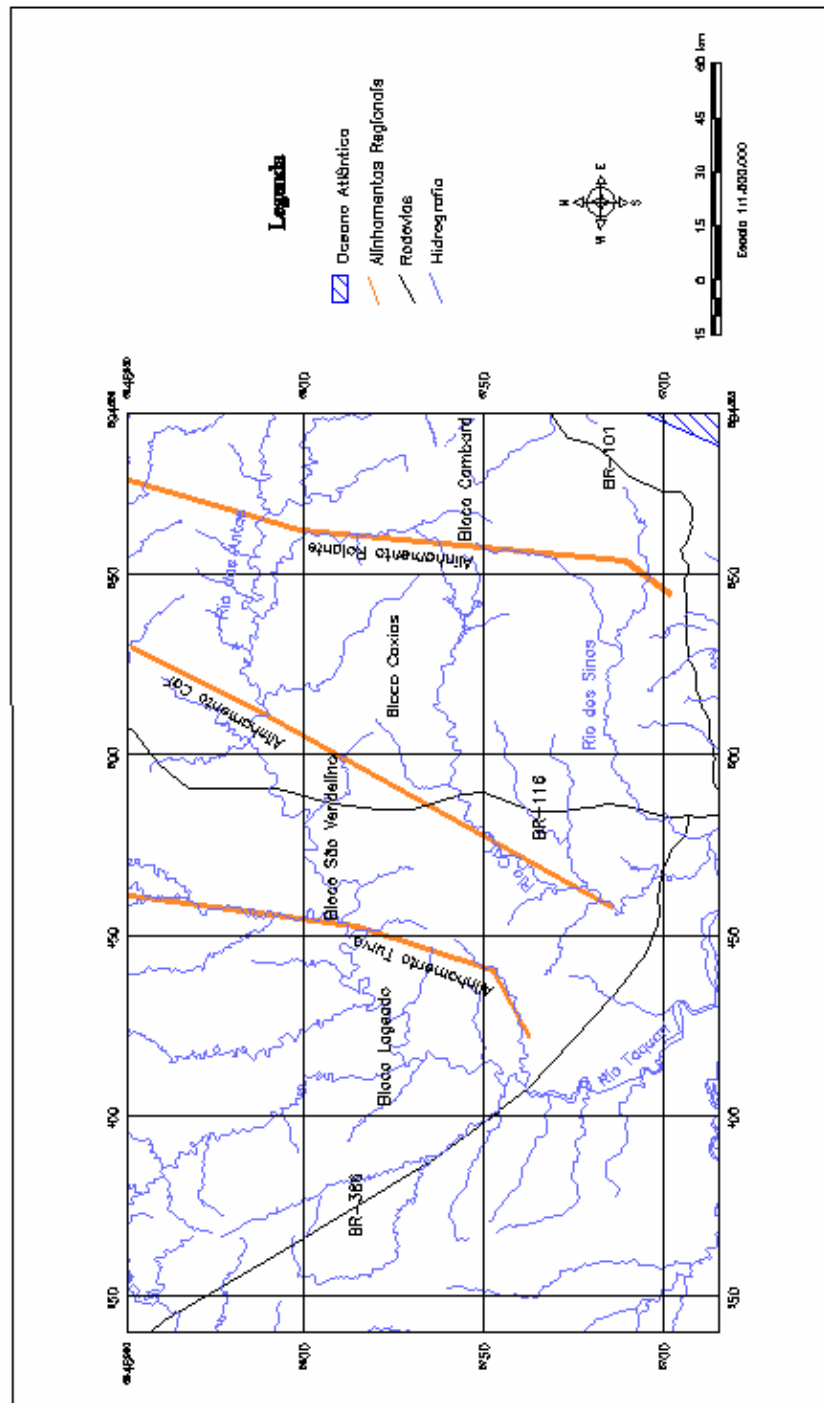


FIGURA 30 – Mapa mostrando os três alinhamentos regionais que compartmentam a área em quatro blocos tectono-estruturais, com mergulho de leste para oeste.

Observa-se, integrando-se os blocos, um mergulho para oeste dos contatos interformacionais, sendo o Bloco Cambará o mais soerguido e o Bloco Lageado o mais rebaixado, com variações internas de rebaixamento e soerguimento em todos os blocos (FIG. 29).

7. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA EM ESTUDO

7.1. Introdução

Vários fatores concorrem e trazem influência nas características hidrogeológicas de um aquífero. A natureza do solo sobreposto, em particular sua porosidade e permeabilidade, é importante para a recarga do aquífero e o tempo de permanência dos excedentes do balanço hídrico, que depende, entre outros fatores, da declividade do solo, de sua permeabilidade e da cobertura vegetal do terreno. As características internas do aquífero são de igual importância, principalmente a porosidade primária da rocha, que define o comportamento do aquífero como poroso, fraturado ou misto. A qualidade da água, por outro lado, é decorrente da composição das águas meteóricas, da composição do solo e da própria rocha que constitui o aquífero, sendo afetada em maior ou menor grau por agentes externos de contaminação.

As rochas sedimentares primam por porosidade e permeabilidade primária maiores que as rochas ígneas e metamórficas, à exceção de argilitos e siltitos, que constituem aquíferos. Os ambientes deposicionais e, em menor escala, a estrutura interna das camadas e sua disposição espacial são fatores controladores do fluxo hidráulico e muitas vezes demonstram variações significativas entre a permeabilidade horizontal e a permeabilidade vertical da rocha, mesmo em pacotes sedimentares relativamente homogêneos (DAVIS, 1969). Chillingar (1963) comprovou que existe uma relação direta do aumento da permeabilidade com o aumento da porosidade, e, rochas muito soterradas são muito cimentadas e conseqüentemente pouco porosas.

O comportamento hidrogeológico de rochas carbonáticas é sensivelmente diferente das rochas sedimentares siliciclásticas, pois embora possuam permeabilidade primária baixa, o maior fluxo se dá através de estruturas kársticas, ao longo de fraturas.

As rochas ígneas e metamórficas, ao contrário das rochas siliciclásticas, têm suas propriedades hidrodinâmicas associadas com a porosidade e permeabilidade secundárias. Em rochas não fraturadas a porosidade é baixa e os poros são pouco interconectados. Assim, as rochas ígneas têm permeabilidade dependente do fraturamento de contração e principalmente do fraturamento tectônico. Estudos mostram que a permeabilidade destas rochas decresce, em geral, com o aumento da profundidade (LEGRAND, 1954; 1962).

Assim, um estudo detalhado das condições de formação das fraturas, a maneira como se conduziram os esforços tectônicos, as principais direções de orientação, o tamanho das fraturas, o espaçamento delas e a interconexão entre elas é muito importante para o bom aproveitamento deste tipo de aquífero. Na Formação Serra Geral uma importante superfície de acumulação e circulação de água é o contato entre derrames (FIG. 31).

FIGURA 31 – Superfície de contato entre derrames. Notar tamanho da abertura do contato, provavelmente já intemperizado e dissolvido pela ação da água. Abaixo do contato zona amigdalalar e acima zona vítrea a afanítica.



A tectônica rúptil exerce papel extremamente importante, que determina o padrão de fluxo das águas subterrâneas. Do ponto de vista da geologia estrutural, um mesmo aquífero pode ter segmentos independentes, formando um sistema aquífero. Na área de estudo, verificou-se que o aspecto estrutural exerceu considerável influência no condicionamento hidrogeológico dos aquíferos analisados.

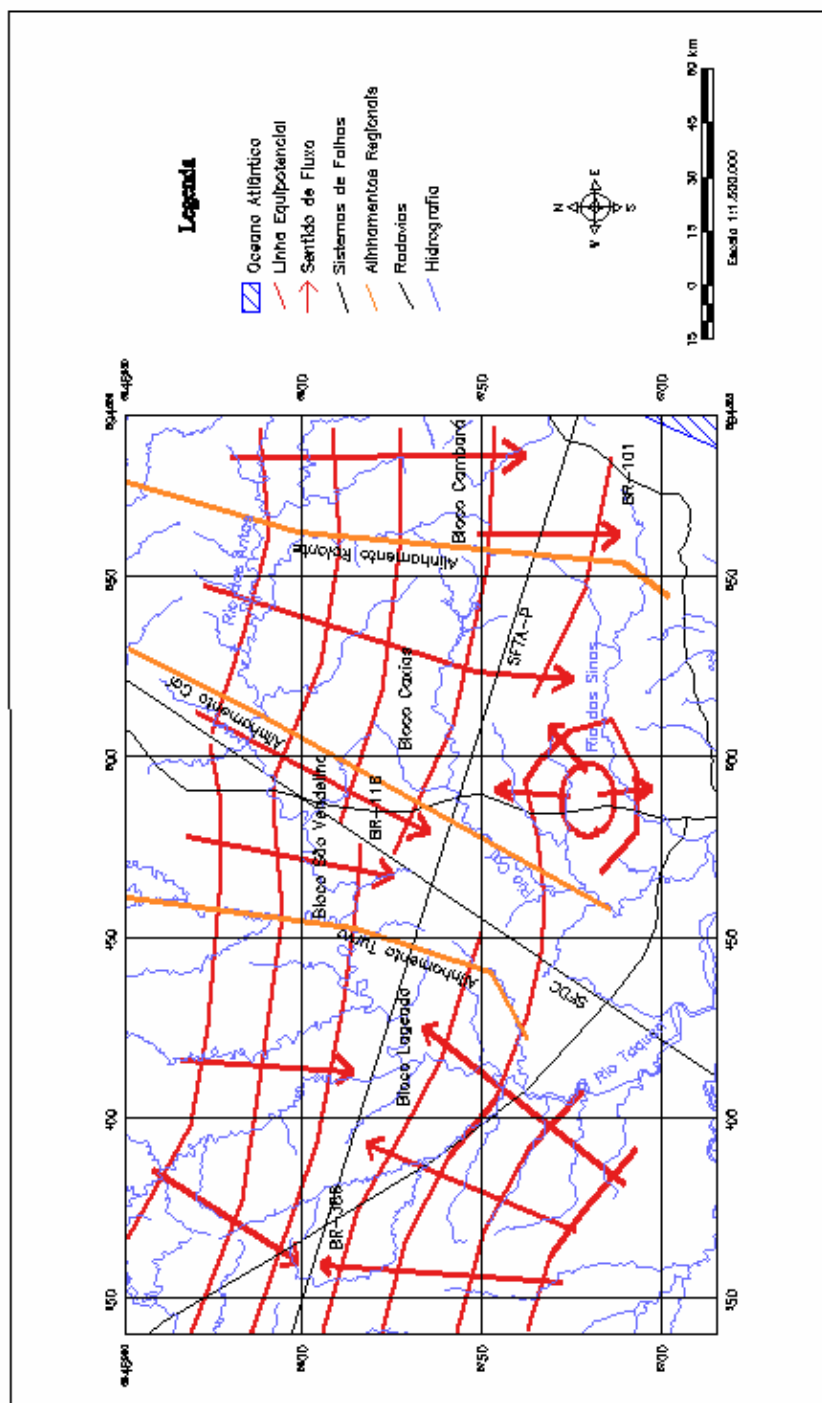
Os lineamentos podem ser condicionantes do quimismo da água subterrânea. A interação água-rocha é incrementada em zonas fraturadas por lineamentos, aumentando o grau de alteração da rocha proporcionalmente com a densidade de fraturas, o que promove maior atividade nas reações de troca iônica. Por outro lado, se o lineamento é mineralizado como veios ou filões, o mesmo pode contribuir com elementos químicos estranhos ao aquífero ou com concentrações anômalas. Ainda é importante ressaltar que se o lineamento for profundo e atravessar diversas formações geológicas, pode colocar em interação aquíferos distintos quimicamente, gerando um tipo misto de água subterrânea.

7.2. Hidrogeologia da Área em Estudo

A caracterização dos lineamentos e a individualização dos blocos tectono-estruturais, associados com o cruzamento dos dados hidrodinâmicos e informações disponíveis na literatura, fornece elementos para o reconhecimento das condicionantes dos sistemas aquíferos, bem como as áreas de recarga e descarga.

O perfil geológico dos poços tubulares foi utilizado para controle do contato entre litologias. As informações do ensaio de bombeamento, em particular a vazão específica, foram consideradas para dimensionar o potencial de produção dos aquíferos, sendo confeccionado o mapa de densidade de vazão específica com a distribuição dos quartis.

Com base nos dados obtidos verifica-se que existe um soerguimento de blocos tectônicos a leste da área estudada e o rebaixamento para oeste, configurando mergulho regional E-W do topo do SAG e das unidades vulcânicas do SASG, condicionando o nível potenciométrico nos dois sistemas aquíferos nesta direção. Entretanto, o basculamento interno dos blocos pode inverter o fluxo da água subterrânea. A integração dos dados permite estabelecer o mapa potenciométrico da FIG. 32 e a direção de fluxo na área estudada, que apresenta boa coincidência com a bibliografia (MACHADO, 2005).



As áreas de recarga e descarga também estão condicionadas pelo basculamento de blocos, lineamentos e pela geomorfologia da área. A Unidade Geomorfológica do Planalto é potencialmente uma área de recarga e infiltração e coincide com o bloco tectônico mais soerguido, onde o nível potenciométrico é mais elevado, sendo considerada a principal área de recarga do SAG confinado e do SASG. Parte da água subterrânea infiltrada é descarregada ao longo dos rios que se desenvolvem nesta região, mas com pequena expressão volumétrica.

A porção noroeste da Unidade Geomorfológica da Escarpa também é uma área de recarga, apresentando considerável espessura de rochas vulcânicas, cotas altimétricas elevadas e relevo bastante falhado.

De certa forma, todas as áreas que possuem precipitação pluviométrica podem ser consideradas em maior ou menor grau áreas de recarga. Nas áreas com nível potenciométrico mais baixo as águas infiltradas acabam recarregando, inicialmente, o aquífero livre. Nestes locais, as águas muitas vezes tendem a ascender, gerando surgência das águas do aquífero confinado, inibindo a recarga nestes locais.

As áreas de descarga e/ou acumulação do SAG confinado compreendem a Unidade Geomorfológica da Sedimentação, a porção centro-sudeste da Unidade Geomorfológica da Escarpa e ao longo do Sistema de Falhas Terra de Areia-Posadas, que também podem ser considerados zonas de acumulação do SAG (FIG. 32). A Unidade Geomorfológica da Sedimentação, que abrange as planícies dos três principais sistemas hídricos da área, está situada em cotas altimétricas inferiores e na região onde o nível potenciométrico é mais baixo. A porção centro-sudeste da Unidade Geomorfológica da Escarpa se registra uma descompressão no confinamento dos sistemas aquíferos. Amostras de águas subterrâneas de poços tubulares situados nesta região, que possui em média de 100 a 200 metros de espessura do pacote vulcânico,

mostram características físico-químicas de águas provenientes das formações sedimentares subjacentes, como valores enriquecidos de Na^+ , STD e pH alcalino, em relação às águas do SASG.

Os locais com maior potencialidade aquífera na área estudada podem ser identificados através dos valores de vazão específica dos poços tubulares cadastrados. Não obstante os valores de vazão variem substancialmente na área, verifica-se uma concentração de valores mais elevados de vazão na porção central da área de estudo, coincidente com o SFTA-P, e próximo ao Alinhamento Caí, onde também se verifica maior densidade de lineamentos de médio porte (FIG. 33).

O valor médio de vazão específica da área é $0,7212 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo o quartil médio variável entre $0,1536$ e $0,8482 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. O quartil inferior é considerado abaixo do valor de $0,1536 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo a menor vazão ($0,0015 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) registrada no Município de Igrejinha. O quartil superior corresponde aos valores acima de $0,8482 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, tendo o maior valor de $10,2272 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ no Município de Morro Reuter.

Observa-se que a potencialidade aquífera não se relaciona diretamente com a densidade de lineamentos nem com os blocos tectono-estruturais identificados na área em estudo, mas apresenta conexão com lineamentos de médio porte, como na região do Município de Encantado, Bloco Lageado, que é próximo ao SFTA-P e a um lineamento de médio porte NE com aproximadamente 40km. Vale notar que o poço com maior vazão específica, na cidade de Morro Reuter, porção central da área (Bloco Caxias), situa-se próximo a um lineamento de médio porte NW com cerca de 50km de extensão.

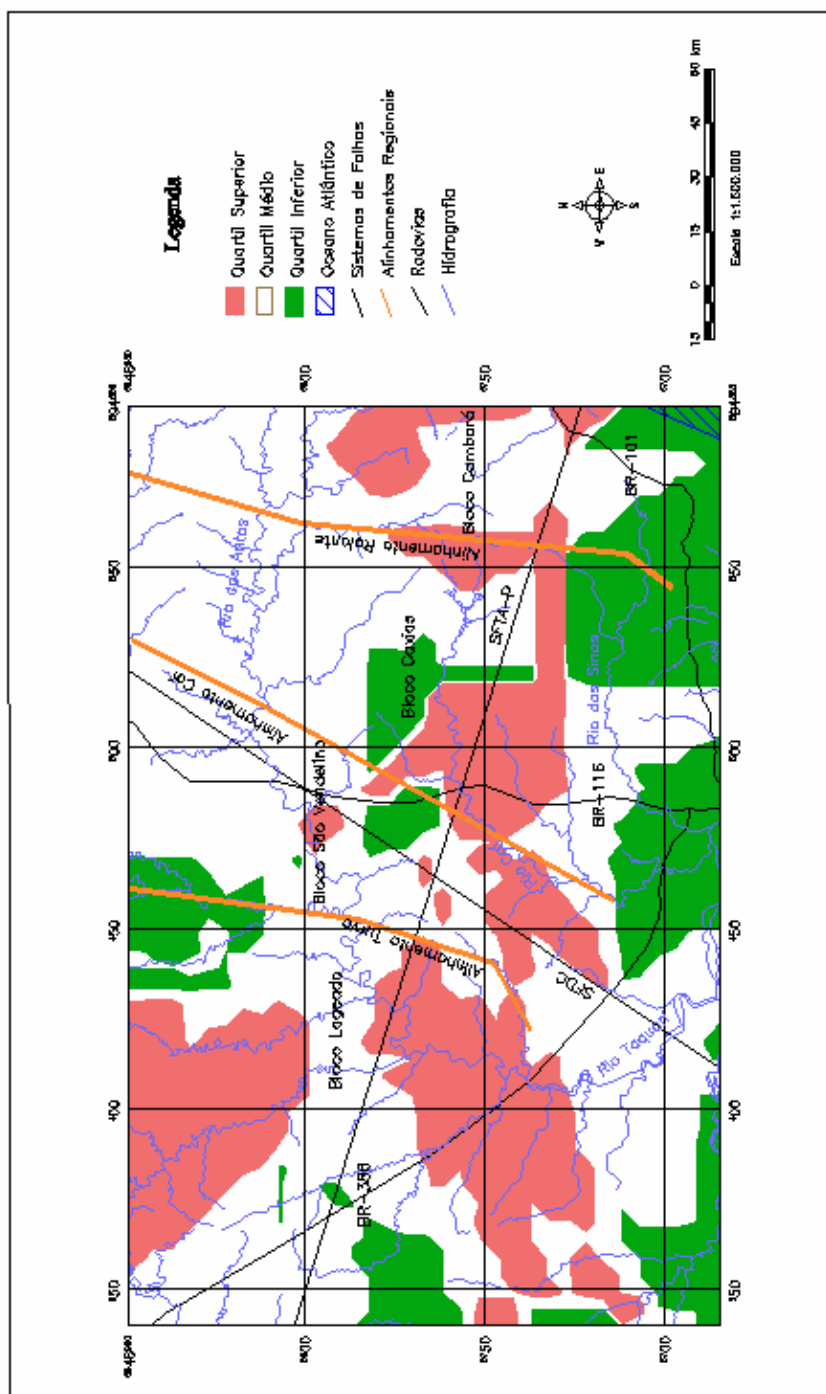


FIGURA 33 - Distribuição espacial dos quartis de vazão específica.

Os poços mais produtivos são, na maioria, os que captam água do SAG. Os poços mais produtivos no SASG estão relacionados com estruturas tectônicas que fazem ascender água do SAG, ou seja, na verdade são áreas inseridas no potenciométrico do SAG e isto é comprovado pelas características hidroquímicas das águas subterrâneas.

Os resultados obtidos apresentam boa correlação com as informações disponíveis em trabalhos anteriores (MACHADO, 2005), principalmente a distribuição das áreas pertencentes ao quartil superior de vazão específica, que geralmente correspondem às áreas de acumulação, que também podem ser as áreas de descarga.

8. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS HIDROQUÍMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA EM ESTUDO

Os dados hidroquímicos obtidos nos bancos de dados consultados (TAB. 02) foram analisados através de tratamento estatístico (análise fatorial e análise de agrupamento) e plotados em diagramas de variação binários e diagramas de classificação. Os resultados permitiram a identificação de grupos quimicamente distintos de águas e a avaliação de processos de interação água-rocha, presentes na evolução dos sistemas aquíferos.

Os dados hidroquímicos apontam uma grande diversidade composicional, de acordo com o Diagrama PIPER, com águas bicarbonatadas cálcico-sódicas, bicarbonatadas cálcico-magnesianas, bicarbonatadas sódio-cálcicas, bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas, águas sulfatadas e cloretadas sódicas, havendo uma única ocorrência de água sulfatada magnesiana (GRAF. 01). Verifica-se uma predominância de águas bicarbonatadas, com menor frequência de cloretadas e sulfatadas. Em termos gerais, é observada pequena variação no conteúdo de ânions se comparada com a ampla variação no conteúdo de cátions, estes últimos definindo a diversidade hidroquímica nos sistemas aquíferos estudados. A variação no conteúdo dos cátions é marcada por um *trend* que evolui de composições cálcico-magnesianas para composições sódico-potássicas, sendo estas enriquecidas em sólidos totais dissolvidos (STD), provavelmente representando águas mais antigas. É provável que estas águas provenham do SAG, com influência hidroquímica das formações permianas e triássicas sotopostas, as quais possuem águas mais sódicas e também enriquecidas em cloreto e sulfato.

TABELA 02
Banco de dados dos poços tubulares inventariados

POÇO	Profundidade (m)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Vazão (m³/h)	Capacidade Específica (m3/h/m)	Coordenadas UTM		Data Análise Química	pH	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Fe ⁺⁺ (mg/L)	STD (mg/L)	Cluster
							X	Y												
G 974 FE 4	200,00	25,15	49,96	24,81	9,38	0,38	470275	6742100	30/09/83	7,10	145,00	4,60	9,00	36,50	17,80	3,00	0,30	0,01	220,50	1
G 1236 IV 6a	174,00	89,37	105,00	15,63	18,00	1,15	482665	6724517	15/08/86	6,70	119,00	17,60	21,00	40,70	17,90	15,00	0,30	0,10	272,90	1
G 1944 IGR 6	87,00	0,41	75,25	74,84	16,85	0,23	519221	6727620	25/11/91	7,30	211,00	4,60	9,00	54,10	15,80	11,00	0,01	0,10	274,40	1
COR ARM 04	173,00	25,57	114,00	88,43	40,00	0,45	406973	6747039	10/12/92	7,30	149,00	12,10	7,00	38,10	15,10	17,00	0,10	0,70	276,10	1
COR BRS 01	100,00	35,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	408855	6724760	05/04/95	7,20	216,00	11,90	16,00	41,00	25,00	18,00	0,20	0,90	310,00	1
G 827 GA 1	128,00	3,50	59,94	56,44	60,00	1,06	450466	6762750	24/10/80	7,00	61,00	6,60	6,00	12,80	2,20	17,46	0,20	0,10	150,00	2
COR ARV 06	118,00	6,43	74,88	68,45	5,79	0,08	384060	6805542	12/11/80	6,60	53,00	16,00	4,00	10,80	1,90	24,49	0,50	0,10	169,20	2
G 837 IL 2	106,00	8,10	67,92	59,82	27,27	0,46	390055	6799913	26/01/81	7,00	53,00	3,70	7,00	13,60	1,90	15,29	0,70	0,10	62,40	2
G727 CP2	102,00	15,99	91,12	75,13	5,47	0,07	468758	6714722	03/04/81	6,70	60,00	2,50	6,00	13,40	6,20	14,40	0,01	0,30	110,40	2
G164 CP1	126,50	2,90	41,55	38,65	6,34	0,16	468484	6714716	07/04/81	6,80	101,00	4,10	9,00	16,40	4,30	15,59	0,01	0,10	177,00	2
G892 FC10	106,00	8,18	53,67	45,49	24,66	0,54	482415	6786450	17/02/82	6,70	68,00	0,50	7,00	13,60	3,40	12,90	0,30	0,10	137,30	2
G 923 FV 2	150,00	6,10	53,00	46,90	9,50	0,20	432119	6805007	06/11/82	6,30	30,00	2,30	10,00	18,00	6,30	14,25	0,30	0,10	54,10	2
COR APR 17	174,00	1,75	66,37	64,62	12,41	0,19	472764	6809646	23/07/83	6,70	50,00	3,80	3,00	11,20	2,40	15,37	0,20	0,10	130,90	2
G 1000 GA 3	84,70	2,80	18,64	15,84	85,71	5,41	448952	6765108	27/02/84	6,50	42,00	1,20	9,00	11,60	4,90	7,00	0,50	0,90	167,40	2
G 1003 GAR 2	118,50	2,35	95,83	93,48	18,95	0,20	448345	6768315	18/03/84	6,40	70,00	0,80	5,00	17,20	2,70	8,00	0,70	0,30	155,70	2
G990 FC6a	84,00	1,84	29,49	27,65	16,74	0,61	481834	6789077	04/07/84	6,50	81,00	4,30	11,00	27,70	5,60	11,00	0,20	0,10	182,60	2
G 1073 IP 2	110,00	5,19	29,46	24,27	7,20	0,30	472861	6812441	28/04/85	6,90	87,00	1,40	2,00	16,40	3,20	15,00	0,01	0,01	138,10	2
COR APR 16	264,00	1,56	22,55	20,99	30,00	1,43	473953	6810308	09/05/85	6,20	44,00	1,40	1,00	10,00	1,70	6,00	0,20	0,01	108,90	2
G 1119 JQ 4	84,00	3,23	26,59	23,36	8,74	0,37	563600	6805790	04/09/85	6,50	33,00	1,30	2,00	8,40	1,20	0,01	0,30	0,10	75,60	2
COR ARV 15	124,00	1,36	43,00	41,64	6,40	0,15	385569	6804258	15/05/86	6,30	32,00	1,40	2,00	9,60	1,20	13,57	0,30	0,20	108,90	2
G1166 FC11	79,00	0,61	24,02	23,41	32,73	1,40	481568	6789743	22/06/86	6,50	50,00	2,30	2,00	10,50	2,90	2,00	0,30	0,10	102,20	2
COR CAS 05	90,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	583575	6786500	02/05/87	5,80	14,00	3,10	3,00	3,20	1,00	2,00	0,10	0,20	64,30	2
COR APR 18	90,00	14,48	70,44	55,96	10,00	0,18	471596	6808534	21/06/87	6,40	58,00	12,40	3,00	13,60	3,20	5,00	0,30	0,01	118,00	2
G 1351 NR 7	108,00	16,09	59,31	43,22	32,73	0,76	460613	6793249	15/07/87	6,40	39,00	2,20	6,00	8,60	2,80	10,00	0,20	1,00	139,00	2
G1421 FC12	80,00	4,92	41,66	36,74	45,00	1,22	482790	6786235	29/04/88	6,80	58,00	3,10	5,00	13,40	2,30	14,00	0,10	0,20	114,60	2
COR APR 19	143,00	2,22	48,00	45,78	4,00	0,09	472037	6808629	27/05/88	6,90	41,00	3,50	2,00	9,40	0,80	8,00	0,40	2,00	131,70	2
G 1477 8a	180,00	63,38	104,63	41,25	18,37	0,45	483620	6724119	02/07/88	6,40	37,00	4,30	15,00	11,60	2,20	9,00	0,01	0,10	126,00	2
COR APR 03 A	122,00	26,76	34,42	7,66	6,50	0,85	472650	6807775	28/07/88	7,00	69,00	5,10	13,00	22,80	4,60	19,00	0,01	0,10	169,90	2
G 1459 IGR 3a	96,00	0,15	47,98	47,83	27,69	0,58	519365	6729775	13/01/89	6,20	65,00	20,20	7,00	12,80	7,10	9,00	0,01	0,10	142,70	2
G 1581 JQ 5	159,00	30,33	109,59	79,26	10,35	0,13	562050	6805450	29/04/89	7,00	88,00	2,10	4,00	25,30	4,40	18,00	0,01	0,10	132,30	2
COR ARV 08	141,00	6,37	58,05	51,68	6,62	0,13	383739	6805321	07/06/89	6,70	72,00	3,30	2,00	16,80	1,70	20,00	0,20	0,10	127,40	2
G1637 FC15	143,00	12,64	38,39	25,75	27,30	1,06	482213	6786802	10/06/90	6,90	67,00	2,60	2,00	15,20	3,40	6,00	0,30	0,10	125,20	2
G 1676 FV 4	54,00	23,98	39,85	15,87	6,15	0,39	432971	6804941	11/08/90	6,50	50,00	3,50	2,00	10,80	2,90	2,00	0,50	0,60	240,90	2
G 1638 IPE 3	84,00	1,07	20,32	19,25	10,75	0,56	473110	6811230	08/11/90	6,60	40,00	2,30	2,00	10,40	2,20	11,00	0,30	0,90	162,40	2
G 1841 MRE 5	184,00	3,21	36,06	32,85	12,18	0,37	491806	6732175	17/03/91	7,10	54,00	0,50	7,00	10,40	7,50	5,00	0,01	0,10	118,30	2
G 1865 GAR 3	140,00	16,98	45,48	28,50	60,92	2,14	447925	6768700	30/07/91	7,10	94,00	1,10	3,00	22,60	3,50	16,00	0,01	0,10	160,70	2
GA 1853 GA 8	120,00	4,82	54,86	50,04	56,57	1,13	451345	6762100	04/09/91	7,40	66,00	0,50	3,00	18,20	2,80	5,00	0,01	0,10	139,00	2
COR APR 29	140,00	0,26	27,50	27,24	25,00	0,92	472601	6806474	12/09/91	6,80	54,00	1,00	2,00	12,00	2,90	6,00	0,00	0,20	111,20	2
G 1952 IV 13	156,00	65,43	89,40	23,97	18,00	0,75	483265	6724489	30/11/91	6,40	84,00	1,60	8,00	19,80	8,90	5,00	0,01	0,10	169,10	2
G 1953 IV 14	180,00	97,86	120,85	22,99	23,29	1,01	483743	6723774	16/01/92	6,20	60,00	1,00	4,00	12,00	3,60	11,00	0,01	0,20	137,90	2
G 1862 GA 9	102,00	0,00	54,45	54,45	33,00	0,61	448325	6762800	25/05/92	6,60	51,00	0,40	6,00	11,60	4,90	11,00	0,01	0,10	123,20	2
COR AND 01	150,00	13,19	138,00	124,81	3,00	0,02	444175	6833100	16/06/92	7,30	81,00	0,20	3,00	18,80	8,00	5,00	0,01	0,20	144,50	2
G1946 FC17	164,00	2,31	101,39	99,08	7,92	0,08	481975	6785870	18/06/92	6,80	56,00	0,90	3,00	10,60	3,00	11,00	0,30	0,50	119,10	2
COR AND 02	144,00	4,49	70,00	65,51	6,00	0,09	443950	6832375	19/06/92	6,70	19,00	0,60	3,00	4,80	1,90	3,00	0,30	0,10	65,80	2
COR BGO 01	65,00	7,85	45,35	37,50	2,20	0,06	449850	6773175	17/09/92	7,10	77,00	1,70	8,00	15,80	3,80	16,00	0,20	0,30	162,20	2
COR ARV 03 A	141,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	385182	6805868	24/10/92	6,60	66,00	1,50	5,00	21,00	1,30	8,00	0,30	0,20	160,00	2
COR ARM 01	138,30	11,37	84,00	72,63	100,00	1,38	410585	6748562	15/11/93	6,50	54,00	0,90	2,00	12,40	4,90	5,00	0,10	0,01	118,30	2
G 2234 LJ 2	156,00	32,12	101,67	69,55	25,71	0,37	407121	6742295	15/11/93	7,30	77,00	0,70	2,00	19,20	6,10	5,00	0,10	0,10	137,00	2
COR APR 32	150,00	3,90	102,00	98,10	15,00	0,15	475459	6809838	05/03/94	6,90	40,00	1,00	0,10	11,20	2,10	4,00	0,00	0,20	118,80	2

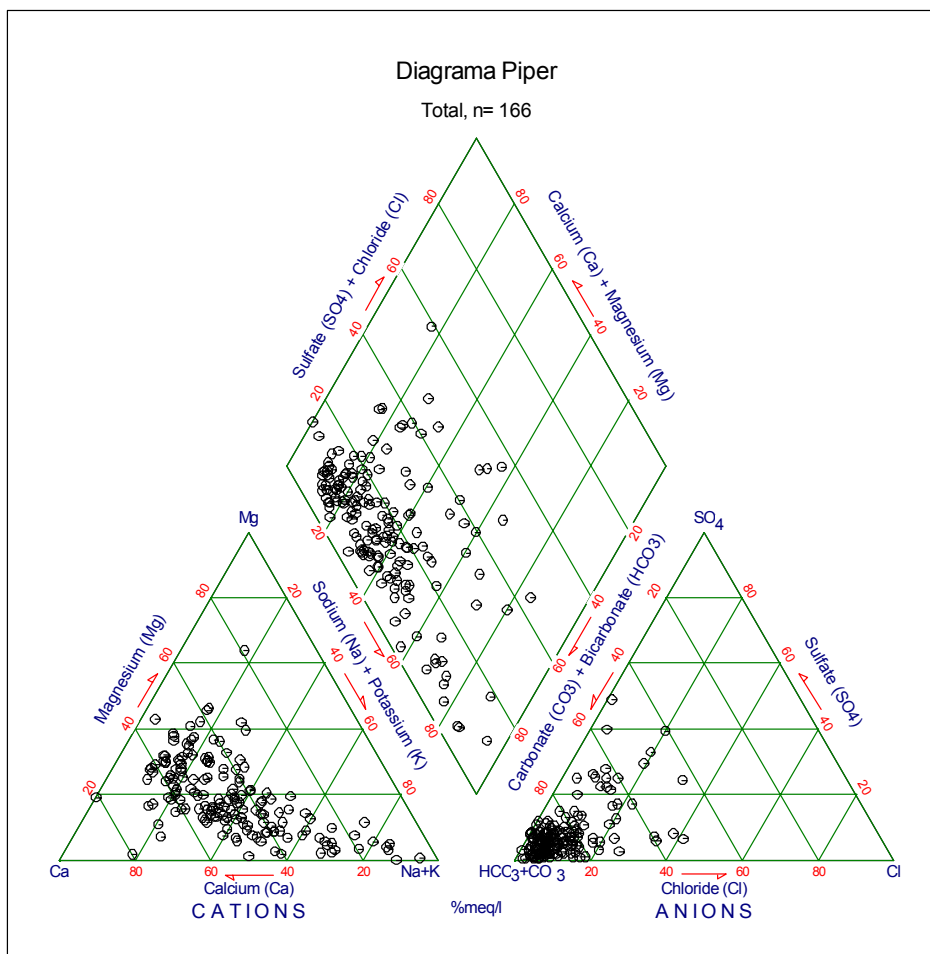
POÇO	Profundidade (m)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Vazão (m³/h)	Capacidade Específica (m3/h/m)	Coordenadas UTM		Data Análise Química	pH	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Fe ⁺⁺ (mg/L)	STD (mg/L)	Cluster
							X	Y												
G 2273 LJ 5	88,00	21,41	44,21	22,80	49,50	2,17	403999	6737832	28/05/94	6,30	51,00	0,20	2,00	11,10	6,10	4,00	0,30	0,10	122,20	2
COR BCA 16	144,00	2,33	41,11	38,78	19,80	0,51	346048	6781521	09/12/94	6,80	68,00	1,60	1,00	2,80	0,80	26,00	0,20	0,20	159,40	2
COR ARV 20	150,00	0,34	37,77	37,43	6,43	0,17	383984	6807339	17/12/94	6,70	40,00	1,10	1,00	9,30	1,30	6,00	0,20	0,20	125,30	2
G 2193 BG 6	100,00	0,00	78,00	78,00	15,00	0,19	451375	6772570	08/06/95	7,00	77,00	2,10	2,00	16,00	2,00	11,00	0,20	0,10	121,00	2
COR CPE SBE 01	150,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	487063	6808926	22/05/96	5,70	8,00	6,17	0,10	1,00	0,40	2,00	0,30	0,20	36,00	2
G 2380 IV 18	180,00	73,05	146,00	72,95	18,00	0,25	483464	6725106	27/06/96	6,90	95,00	1,10	2,00	23,00	6,00	8,00	0,20	0,10	152,00	2
G 2399 BAO 8	144,00	12,41	42,00	29,59	12,00	0,41	450533	6750477	07/09/96	6,70	44,00	2,00	4,00	10,00	4,00	6,00	0,30	0,10	104,00	2
G 2445 IV 19	174,00	101,00	125,00	24,00	12,00	0,50	482251	6724482	27/02/97	6,80	77,00	5,25	6,00	13,00	10,00	14,00	0,20	0,10	150,00	2
G 2454 GA 12	115,00	12,83	92,00	79,17	20,00	0,25	449170	6765200	10/04/97	7,10	53,00	5,09	3,00	11,00	3,00	10,00	0,20	0,20	127,00	2
G 2503 IV 26	186,00	93,21	111,00	17,79	12,00	0,67	483469	6723823	21/08/97	6,70	44,00	5,09	3,00	8,00	3,00	8,00	0,01	0,01	116,00	2
COR ARM 08	138,00	22,95	63,88	40,93	65,50	1,60	410117	6748680	08/11/98	6,80	55,00	5,32	2,00	10,00	5,00	8,00	0,20	0,01	128,00	2
COR APR 39	146,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	470463	6810094	12/03/99	6,90	72,00	5,32	2,00	13,00	2,00	10,00	0,20	0,01	156,77	2
COR APR 36	132,00	3,84	50,00	46,16	5,00	0,11	475459	6809835	18/03/99	6,90	71,00	5,32	2,00	14,00	2,00	6,00	0,20	0,01	155,75	2
COR APR 38	153,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	470560	6806085	26/03/99	6,90	61,00	5,06	5,00	16,00	3,00	7,00	0,20	0,01	146,37	2
G 19 FC 2	42,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	482500	6788980	11/08/99	6,80	58,00	6,17	0,10	13,00	3,00	10,00	0,30	0,01	143,89	2
COR ARV 21	138,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	382709	6805859	29/09/99	6,10	20,00	5,32	2,00	4,00	3,00	2,00	0,20	0,01	67,00	2
PRM CAS 01	57,00	4,53	30,00	25,47	4,50	0,18	592206	6794935	28/01/00	6,10	36,00	5,09	3,00	6,00	2,00	7,00	0,20	0,10	131,09	2
COR IPE 10	102,00	0,91	50,00	49,09	29,00	0,59	473964	6812472	03/08/00	6,70	74,00	5,70	1,00	13,00	3,00	7,00	0,01	0,01	158,86	2
COR BCA 19	180,00	1,68	70,00	68,32	6,00	0,09	344726	6779583	11/09/00	6,80	65,00	6,17	0,10	6,00	0,30	18,00	0,60	0,40	136,00	2
PAR CNL RJA 01	102,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	522291	6755679	11/01/01	5,40	7,00	5,32	2,00	1,00	2,00	1,00	0,20	0,00	131,93	2
COR DOI 07	194,00	29,06	142,00	112,94	25,00	0,22	492053	6726894	19/09/01	7,00	79,00	5,06	5,00	19,00	0,25	5,00	0,26	0,01	164,34	2
2906 COR FC5a	196,00	9,60	58,00	48,40	13,00	0,27	482527	6788990	19/10/01	6,70	80,00	9,84	13,00	21,00	4,00	15,00	0,01	0,30	165,48	2
COR FC 30	180,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	480776	6786637	09/05/02	6,90	60,00	5,32	2,00	12,00	2,00	10,00	0,30	0,01	145,53	2
COR BRS 03 A	42,00	9,92	29,65	19,73	4,89	0,25	409378	6725110	04/08/02	7,10	99,00	5,32	2,00	19,00	6,00	5,00	0,10	0,01	149,00	2
COR FC 27	100,00	3,83	41,00	37,17	6,00	0,16	485708	6789195	13/09/02	6,70	52,00	5,70	1,00	10,00	3,00	6,00	0,20	0,01	139,42	2
COR FVA 14	61,79	0,46	35,00	34,54	30,00	0,87	431491	6804702	08/03/03	6,20	24,00	5,01	4,00	10,00	4,00	6,00	0,10	1,50	128,72	2
G 1163 GA 4	115,00	6,14	76,00	69,86	4,00	0,06	449850	6767250	05/02/94	6,40	103,00	0,80	3,00	19,00	9,40	8,00	0,01	4,90	175,40	2
G 1926 BAO 5	174,00	1,67	108,00	106,33	5,50	0,05	451975	6750425	13/11/03	7,00	54,00	2,00	2,00	10,00	4,00	6,00	0,40	0,01	114,00	2
G809 CP3	128,00	22,77	75,63	52,86	2,90	0,05	468506	6714258	29/04/80	7,40	126,00	8,60	12,00	28,00	4,90	18,96	0,30	0,30	139,10	3
COR CAS 02	81,00	0,00	3,25	3,25	5,46	1,68	583580	6786400	12/02/84	6,80	114,00	6,00	8,00	31,70	9,00	16,00	0,70	0,10	179,50	3
G 1026 EN 8a	246,00	36,83	70,79	33,96	48,65	1,43	413841	6765678	23/07/84	8,00	150,00	6,70	12,00	40,50	9,00	23,00	0,20	0,70	241,60	3
G 1135 BPI 1	141,00	55,83	80,46	24,63	32,73	1,33	465225	6736625	06/11/85	6,70	145,00	3,50	6,00	36,90	12,60	9,00	0,30	0,10	223,50	3
G 1213 IV 5	181,00	76,15	108,55	32,40	12,86	0,40	484665	6724951	19/04/86	7,20	151,00	4,00	2,00	42,90	6,30	11,00	0,30	0,01	214,50	3
G 1210 IGR 1	72,00	n.d..	n.d..	n.d..	2,92	n.d..	518734	6726649	27/06/86	6,90	177,00	5,80	7,00	42,70	14,60	10,00	0,10	0,01	238,90	3
G 1234 IGR 3	112,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	519522	6729782	28/08/86	7,10	131,00	5,20	5,00	24,60	11,70	10,00	0,05	0,10	194,00	3
G 1300 IGR 2a	84,00	4,50	66,82	62,32	25,71	0,41	521388	6728283	20/09/86	7,20	136,00	6,50	8,00	30,50	13,30	12,00	0,15	0,01	173,30	3
PRM BPR 02	250,00	120,46	122,64	2,18	9,00	4,13	464360	6737550	13/09/87	7,40	170,00	6,50	8,00	46,10	11,20	14,00	0,15	0,01	241,50	3
G 1725 IV 11	200,00	93,46	141,10	47,64	7,20	0,15	484557	6722829	19/07/90	6,60	95,00	7,10	4,00	25,10	8,60	9,00	0,30	0,20	192,70	3
G 1724 IV 10a	200,00	83,62	131,39	47,77	10,75	0,22	484922	6724428	24/07/90	7,40	142,00	6,90	5,00	38,90	10,20	8,00	0,30	0,10	216,70	3
G 1972 IV 15	198,00	64,90	98,82	33,92	30,46	0,90	485105	6726063	23/01/92	6,60	115,00	2,00	7,00	28,40	9,00	7,00	0,01	0,20	167,00	3
G 1655 JQ 6	98,00	27,38	77,69	50,31	13,20	0,26	562760	6804020	15/02/92	7,30	97,00	4,80	2,00	24,40	3,90	12,00	0,01	0,01	168,70	3
G2011 DI2	180,00	24,92	50,83	25,91	8,00	0,31	492600	6725640	24/02/92	7,00	116,00	2,00	6,00	31,50	5,70	12,00	0,01	0,01	163,70	3
G 2251 LJ 4	126,00	28,89	60,52	31,63	52,80	1,67	405616	6742286	18/03/94	7,40	84,00	0,90	4,00	21,00	9,70	5,00	0,01	0,20	159,50	3
G2306 DI3	120,00	9,18	43,37	34,19	46,59	1,36	490153	6727865	21/11/94	7,50	136,00	0,60	4,00	33,60	9,10	11,00	0,20	0,01	183,20	3
G 2500 IV 23	168,00	75,38	110,00	34,62	26,00	0,75	485067	6726161	14/08/97	7,00	101,00	5,32	2,00	23,00	8,00	8,00	0,01	0,01	165,00	3
G 2501 IV 24	186,00	130,30	152,00	21,70	18,00	0,83	485240	6723580	14/09/97	7,60	189,00	5,80	5,00	52,00	12,00	10,00	0,01	0,01	259,00	3
COR IGR 09	138,00	3,98	100,00	96,02	20,00	0,21	521884	6731392	17/05/98	7,00	117,00	5,06	5,00	25,00	8,00	38,00	0,01	0,10	145,00	3
IG PM	100,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	518265	6729969	05/10/00	7,30	127,00	5,06	5,00	31,00	8,00	10,00	0,20	0,01	229,34	3
COR IGR 11	249,00	63,44	95,00	31,56	4,00	0,13	518147	6729747	18/10/01	7,60	140,00	4,20	8,00	36,00	10,00	15,00	0,10	0,01	248,74	3
PAR GEN SAS 02	128,30	33,39	60,00	26,61	15,00	0,56	415119	6691164	25/01/02	7,00	124,00	7,22	10,00	24,00	13,00	15,00	0,30	0,01	182,00	3
COR ARM 02	134,00	13,47	45,75	32,28	56,25	1,74	407538	6748361	24/08/02	7,50	160,00	7,10	4,00	52,00	5,00	18,00	0,10	0,01	202,00	3
3061 COR FE 11	179,00	13,30	65,00	51,70	18,00	0,35	472249	6745143	24/04/03	7,40	161,00	11,60	4,00	37,00	15,00	21,00	0,20	0,01	134,72	3

POÇO	Profundidade (m)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Vazão (m³/h)	Capacidade Específica (m³/h/m)	Coordenadas UTM		Data Análise Química	pH	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Fe ⁺⁺ (mg/L)	STD (mg/L)	Cluster
							X	Y												
COR 3062 FE 12	179,00	0,35	100,00	99,65	40,00	0,40	469388	6742820	01/05/03	7,40	95,00	5,09	3,00	24,00	8,00	9,00	0,10	0,01	183,94	3
COR IGR 12	179,00	55,41	120,00	64,59	8,00	0,12	518257	6729957	29/05/03	7,50	153,00	2,40	5,00	38,00	12,00	10,00	0,10	0,01	267,91	3
G 270 FE 1	85,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	468800	6742065	18/06/03	7,10	149,00	9,60	6,00	38,00	14,00	14,00	0,20	0,01	262,06	3
G 1921 EN 11	180,00	52,43	94,73	42,30	36,00	0,85	414188	6766599	10/09/91	8,00	143,00	37,60	19,00	13,00	3,00	82,00	1,80	0,10	296,60	4
G 1789 FE 7 A	190,00	25,17	81,77	56,60	26,67	0,47	471500	6742030	25/01/91	7,20	171,00	16,40	78,00	25,00	20,50	25,00	0,30	0,10	298,90	4
COR BCA 14	126,00	6,64	70,00	63,36	5,00	0,08	345875	6778243	21/10/90	6,60	132,00	9,90	2,00	3,20	0,25	74,00	0,70	2,10	307,90	4
COR MOT VOL 01	160,00	5,64	110,00	104,36	5,00	0,05	464262	6703064	28/10/99	8,40	133,00	74,60	6,00	10,00	2,00	82,00	0,30	0,01	238,29	4
G 970 EN 4a	224,50	31,85	92,08	60,23	51,43	0,85	414765	6765625	18/09/83	7,10	177,00	96,10	42,00	48,80	9,50	84,00	0,90	0,01	425,80	4
G 1247 EN 10	241,70	16,13	74,94	58,81	47,37	0,81	413362	6767513	07/08/86	7,90	155,00	50,20	22,00	26,50	7,30	66,00	1,30	0,01	327,90	4
G 1444 EN 5a	180,00	51,41	102,15	50,74	36,00	0,71	414751	6765907	20/09/88	7,80	165,00	74,20	36,00	33,70	4,90	90,00	0,90	0,10	441,30	4
Pm1 Anta Gorda	39,80	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	401800	6795050	02/03/90	8,30	166,00	51,60	11,00	43,70	7,00	43,00	0,60	0,10	302,70	4
COR EN 16	150,00	53,17	84,00	30,83	40,00	1,30	415632	6765018	27/01/97	8,10	207,00	40,90	32,00	32,00	4,00	91,00	0,50	0,10	396,00	4
COR ARV 04	93,00	3,91	47,54	43,63	6,32	0,14	384572	6805929	06/07/80	7,10	65,00	2,50	7,00	14,40	1,00	14,40	0,50	0,30	149,93	5
G 816 GAR 1	150,30	2,90	65,56	62,66	3,08	0,05	448350	6769275	24/07/80	8,90	115,00	1,10	3,00	1,60	0,25	13,35	0,50	0,30	182,20	5
COR BCA 07	134,00	2,51	107,00	104,49	6,00	0,06	345961	6780935	28/01/81	7,60	97,00	7,70	7,00	2,00	0,00	18,28	0,50	0,70	185,50	5
G878 FC9	176,50	1,47	62,64	61,17	20,00	0,33	481637	6789498	24/11/81	7,70	68,00	4,60	6,00	12,80	2,90	15,97	0,30	0,10	248,50	5
G 894 JQ 2	101,00	5,42	87,56	82,14	6,00	0,07	562830	6805520	14/01/82	7,50	31,00	2,90	10,00	8,80	2,20	14,69	0,30	0,10	151,80	5
COR APR 07	90,00	0,18	6,72	6,54	19,80	3,03	471858	6808648	14/02/82	7,90	100,00	1,90	8,00	9,60	3,40	13,95	0,70	0,90	197,70	5
G 838 GA 2	139,00	4,85	35,00	30,15	85,00	2,82	450671	6762804	26/06/83	7,60	48,00	7,30	3,00	12,00	1,90	17,98	0,10	0,20	115,40	5
COR ARV 07	219,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	384330	6805150	26/03/85	7,50	106,00	10,00	3,00	11,60	2,90	38,00	0,50	0,10	199,90	5
COR ARV 11	151,00	1,46	98,64	97,18	15,65	0,16	382992	6804589	08/05/86	7,30	94,00	5,30	1,00	16,00	1,50	20,00	0,80	0,10	162,30	5
G 1228 BG 2	66,00	1,98	51,00	49,02	50,00	1,02	453300	6773200	05/06/86	6,90	83,00	4,60	3,00	18,60	3,50	12,00	0,50	0,60	180,70	5
G 1202 MRE 4	137,00	80,25	82,01	1,76	18,00	10,23	492811	6732662	12/07/86	7,60	53,00	4,30	5,00	15,60	4,90	6,00	0,30	0,10	104,50	5
COR CAS 04	137,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	584370	6786350	15/02/87	7,30	56,00	2,50	4,00	9,60	2,80	13,00	0,60	0,10	106,00	5
COR APR 41	176,00	58,24	108,00	49,76	3,50	0,07	469741	6807543	19/09/87	8,20	129,00	13,50	10,00	20,00	6,10	47,00	0,70	0,90	138,10	5
COR APR 22	171,50	76,79	169,34	92,55	7,35	0,08	470475	6807600	21/11/87	8,40	89,00	1,60	4,00	10,00	1,20	31,00	0,40	0,50	157,50	5
COR APR 26	108,00	3,98	43,00	39,02	20,00	0,51	474408	6810313	02/12/89	7,00	70,00	0,40	4,00	17,20	1,40	17,00	0,30	0,10	214,00	5
G1483 FC14	120,00	0,15	24,00	23,85	20,00	0,84	482608	6787238	07/06/90	7,90	76,00	1,40	3,00	14,60	2,60	14,00	0,30	0,10	139,20	5
COR BCA 09	73,00	2,64	60,00	57,36	9,00	0,16	345311	6780937	27/10/90	7,40	53,00	2,20	3,00	7,00	0,10	8,00	0,50	0,20	110,60	5
COR APR 24	150,00	n.d..	n.d..	n.d..	2,20	n.d..	473759	6809164	17/09/91	8,00	72,00	0,50	2,00	6,80	0,70	31,00	0,30	0,20	140,80	5
G1947 FC18	96,00	3,64	24,87	21,23	33,96	1,60	481236	6789833	24/02/92	7,60	57,00	0,90	2,00	13,00	3,00	8,00	0,00	0,01	138,00	5
G1945 FC16	108,00	17,95	40,72	22,77	56,57	2,48	481914	6785945	14/06/92	7,20	79,00	0,60	3,00	17,80	2,60	19,00	0,30	0,10	153,90	5
COR BCA 15	156,00	8,00	70,00	62,00	4,00	0,06	346334	6780686	24/04/93	7,60	87,00	1,40	2,00	12,00	0,50	31,00	0,30	0,10	175,80	5
COR CPE 02	120,00	7,98	50,00	42,02	20,00	0,48	489978	6814724	20/08/93	7,90	85,00	0,20	1,00	14,80	0,40	24,00	0,60	0,10	145,20	5
G 2192 BG 5	132,00	18,30	70,50	52,20	26,31	0,50	450250	6775350	10/06/95	8,00	73,00	2,60	1,00	14,00	3,00	11,00	0,30	0,20	126,00	5
G 2388 BG 11	150,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	449950	6775575	19/08/96	7,90	94,00	1,00	2,00	15,00	2,00	23,00	0,30	0,10	150,00	5
G2415 FC19	132,00	17,20	36,00	18,80	30,00	1,60	481570	6786170	18/05/97	7,20	84,00	6,17	0,10	18,00	2,00	16,00	0,40	0,01	170,15	5
G 2416 FC 20	150,00	16,39	75,00	58,61	4,00	0,07	481484	6785944	21/05/97	8,00	102,00	5,70	1,00	14,00	2,00	30,00	0,30	0,01	180,00	5
COR FC 24	94,00	0,00	42,00	42,00	30,00	0,71	480727	6788766	01/01/98	7,70	89,00	6,17	0,10	20,00	3,00	15,00	0,20	0,01	155,00	5
COR ARM 03	192,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	407820	6748125	12/11/98	8,20	95,00	26,10	3,00	13,00	0,90	41,00	0,10	0,01	193,00	5
COR BG 12	120,00	41,89	90,00	48,11	7,00	0,15	451076	6769030	10/01/99	7,30	54,00	23,70	23,00	9,00	1,00	16,00	0,30	0,01	140,84	5
COR BCA 22	200,00	5,52	125,00	119,48	1,00	0,01	469102	6741503	20/06/99	8,80	104,00	5,70	1,00	6,00	3,00	37,00	0,01	0,01	159,00	5
G 2701	180,00	15,90	110,00	94,10	2,10	0,02	452334	6702237	23/06/99	7,80	105,00	5,09	3,00	18,00	5,00	24,00	0,01	0,01	197,46	5
COR ARV 24	192,00	75,51	115,00	39,49	18,00	0,46	387945	6802034	25/06/99	7,80	86,00	6,17	0,10	14,00	2,00	23,00	0,30	0,01	146,00	5
2455 FX 5a	110,00	9,87	50,00	40,13	10,00	0,25	367660	6792088	12/01/00	7,90	70,00	5,32	2,00	15,00	2,00	10,00	0,60	0,01	154,74	5
COR NR 12	145,00	81,33	109,00	27,67	12,00	0,43	460429	6792621	15/06/00	7,40	99,00	5,01	4,00	15,00	2,00	23,00	0,40	0,01	189,25	5
COR BCA 18	156,00	4,05	103,00	98,95	10,00	0,10	346426	6780839	07/09/00	7,30	70,00	5,09	3,00	14,00	2,00	12,00	0,20	0,01	120,00	5
COR MRE 10a	374,00	39,22	230,00	190,78	30,00	0,16	492460	6730733	18/11/00	8,30	116,00	40,90	11,00	27,00	1,00	41,00	0,40	0,01	213,14	5
COR FC 26	211,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	482752	6786236	10/03/01	8,00	93,00	6,17	0,10	17,00	6,00	17,00	0,30	0,01	181,34	5
2920 COR SAS 5	171,29	11,15	42,00	30,85	5,00	0,16	413750	6688679	14/09/01	7,30	150,00	5,32	2,00	14,00	7,00	14,00	0,40	0,01	263,53	5
2898 COR MRE 8b	276,00	49,72	52,00	2,28	8,00	3,51	490603	6731830	08/02/02	8,10	102,00	5,09	3,00	25,00	4,00	22,00	0,80	0,01	193,32	5
COR FC 29	180,00	5,22	83,00	77,78	25,00	0,32	480760	6789184	03/06/02	7,40	86,00	5,70	1,00	10,00	1,00	29,00	0,70	0,01	172,56	5

POÇO	Profundidade (m)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Vazão (m³/h)	Capacidade Específica (m³/h/m)	Coordenadas UTM		Data Análise Química	pH	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Fe ⁺⁺ (mg/L)	STD (mg/L)	Cluster
							X	Y												
COR FC 28	86,00	0,06	30,00	29,94	14,00	0,47	485690	6789873	15/06/02	6,90	56,00	5,70	1,00	11,00	2,00	8,00	0,80	0,01	142,33	5
COR ARV LCA 01	206,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	396172	6809575	06/09/02	9,10	94,00	5,32	2,00	8,00	2,00	37,00	0,60	0,01	162,00	5
COR ARV LCA 02	206,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	396046	6809236	10/10/02	7,10	74,00	5,32	2,00	13,00	1,00	17,00	0,40	0,20	152,00	5
COR PM LSET 3032	72,00	11,30	20,00	8,70	20,00	2,30	390571	6813233	08/11/02	7,60	84,00	5,09	3,00	17,00	2,00	19,00	0,40	0,01	170,15	5
2951 COR SAS 7	198,00	14,77	42,00	27,23	5,00	0,18	413831	6689241	07/02/03	7,90	126,00	0,50	2,00	23,00	9,00	18,00	0,40	0,01	187,00	5
G 1162 FE 5	150,00	9,93	47,39	37,46	10,00	0,27	469800	6738150	11/02/86	7,20	205,00	5,40	6,00	50,90	15,30	20,00	0,50	0,40	359,60	6
G 1793 FE 9	180,00	12,07	73,41	61,34	30,00	0,49	470550	6741300	19/01/91	7,90	198,00	25,10	10,00	43,90	10,30	43,00	0,30	0,10	312,00	6
G 498 EN 7	224,00	52,88	100,73	47,85	35,29	0,74	414238	6765925	31/05/92	7,10	225,00	31,30	17,00	34,70	10,10	66,00	0,30	0,20	313,50	6
G 2013 EN 13		n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	413745	6766712	26/07/93	8,30	152,00	13,70	13,00	31,70	6,80	42,00	0,70	0,50	330,60	6
COR ARM 04	173,00	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	n.d..	406973	6747039	18/10/97	7,60	160,00	43,50	19,00	41,00	5,00	57,00	0,30	0,01	330,00	6
COR MRE 10	210,00	17,03	140,00	122,97	8,00	0,07	492818	6730815	20/01/00	7,90	159,00	22,80	5,00	33,00	7,00	13,00	0,30	0,01	276,53	6
2911 COR DI6	222,21	13,44	127,00	113,56	16,00	0,14	491211	6728316	31/07/02	7,80	189,00	3,10	9,00	46,00	14,00	16,00	0,01	0,01	315,48	6
COR IGR 13 A	162,00	0,57	83,00	82,43	0,12	0,00	522342	6727822	12/06/03	7,70	159,00	3,70	6,00	33,00	8,00	29,00	0,40	0,01	276,53	6

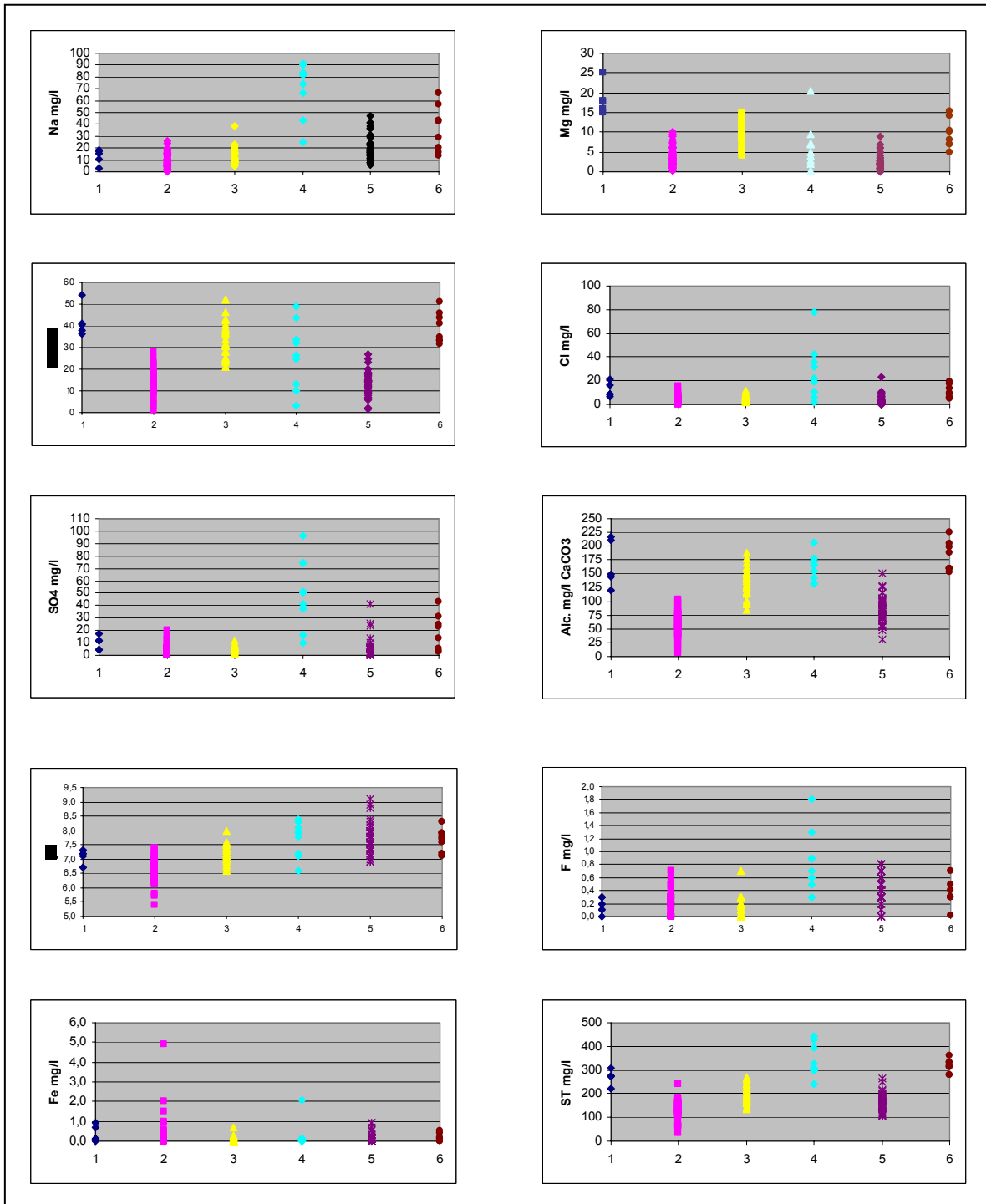
GRÁFICO 01

Diagrama Piper de todas as amostras da área de estudo.



A análise estatística realizada no conjunto de dados levou em consideração cátions e ânions utilizados no Diagrama Piper (cálcio, sódio, magnésio, bicarbonato, cloreto e sulfato), acrescentando-se flúor, pH, STD e ferro, totalizando dez parâmetros. Como a maioria das análises utilizadas não apresentava o teor de bicarbonato, optou-se pelo uso dos valores de alcalinidade em substituição. Os resultados da análise estatística de agrupamento permitiram o reconhecimento de 6 grupos de águas subterrâneas quimicamente distintos, mostrados nos diagramas binários a seguir (GRAF. 02).

GRÁFICO 02
Gráficos binários dos parâmetros físico-químicos *vs.* clusters.



Cluster 1 – É representado por 05 amostras de águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas (GRAF. 03). A principal característica que levou sua individualização são as concentrações relativamente elevadas de magnésio, variáveis entre 15 a 25 mg/L. Estas amostras também possuem leve enriquecimento em cloreto e sulfato, como pode ser verificado no diagrama binário SO_4^{2-} vs Cl^- (GRAF. 04), bem como cálcio, alcalinidade e STD (GRAF. 02, 05 e 06).

GRÁFICO 03
Diagrama Piper das amostras do *cluster 1*.

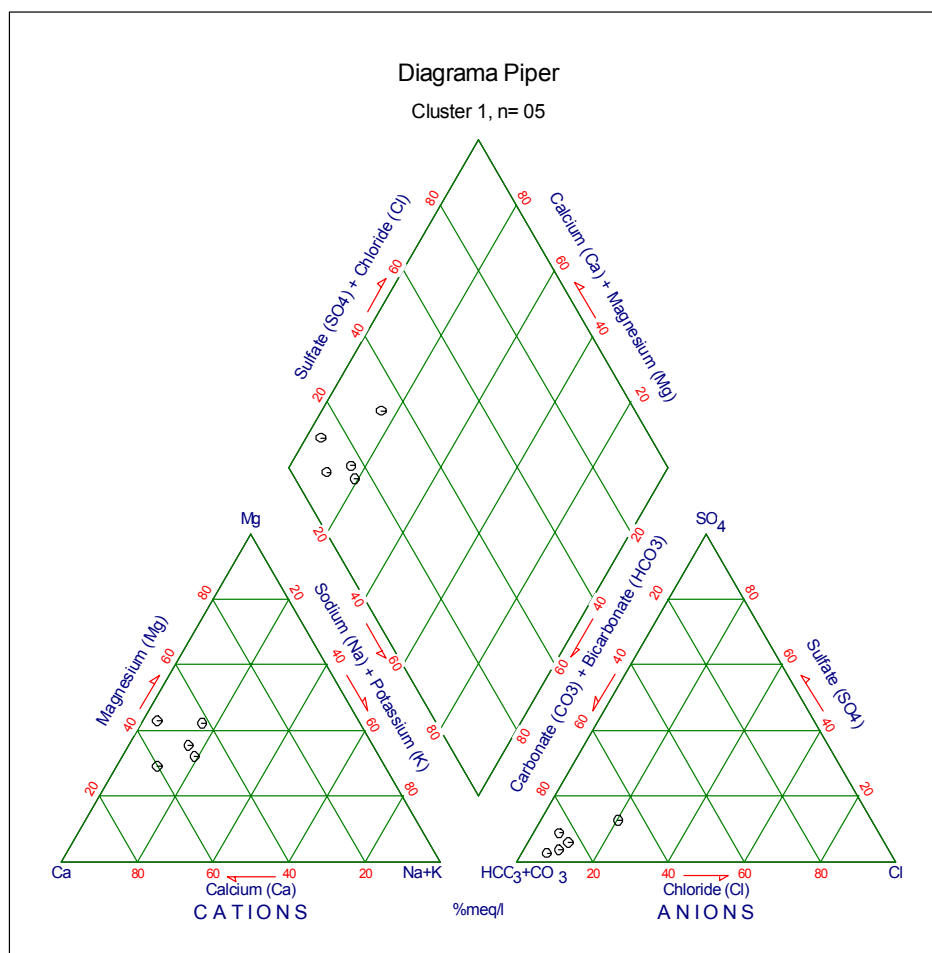


GRÁFICO 04
Gráfico binário de SO_4^{--} vs. Cl^-

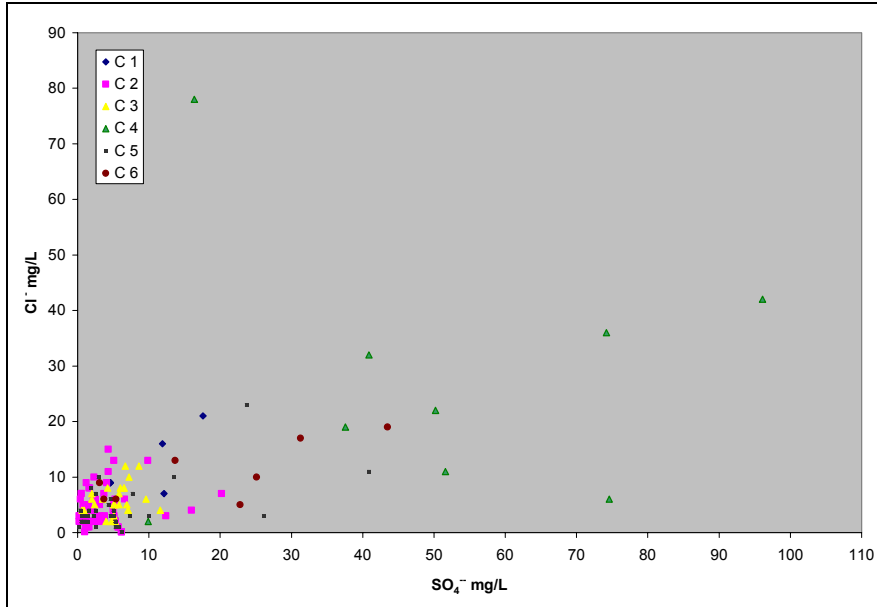


GRÁFICO 05
Gráfico binário de Alcalinidade vs. Ca^{++}

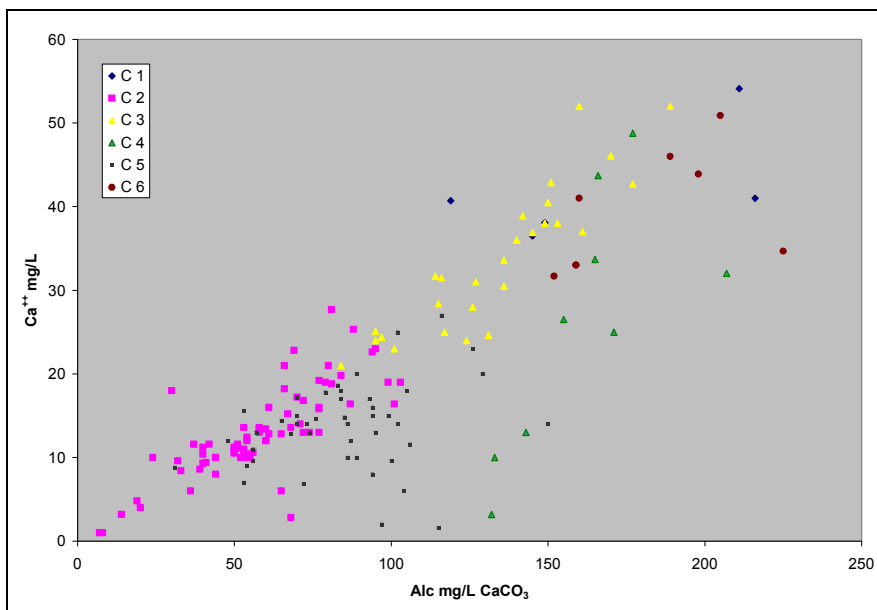
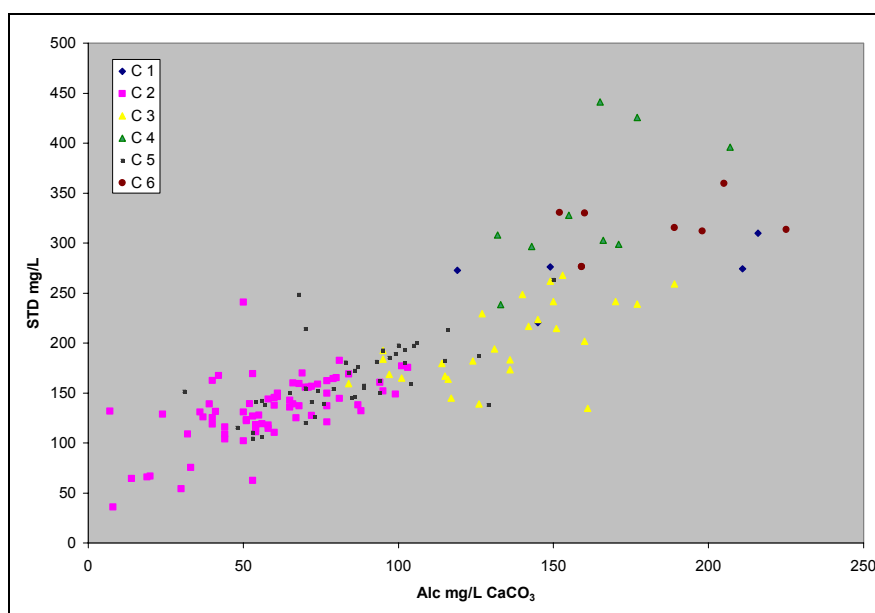


GRÁFICO 06
Gráfico binário de Alcalinidade total vs. STD



As amostras que compõem este *cluster* ocorrem no sul da área de estudo e do SFTA-P, estando os poços situados geograficamente em formações sedimentares ou em locais com pouca espessura de rocha vulcânica (FIG. 34). Sua composição é provavelmente resultante da interação da água por considerável tempo de residência com as formações permianas e triássicas da Bacia do Paraná, considerando-se que a Formação Botucatu não possui mineralogia para dar origem a concentrações elevadas de magnésio. Por outro lado, a situação geográfica das amostras deste *cluster* torna pouco provável a relação de origem com as rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral.

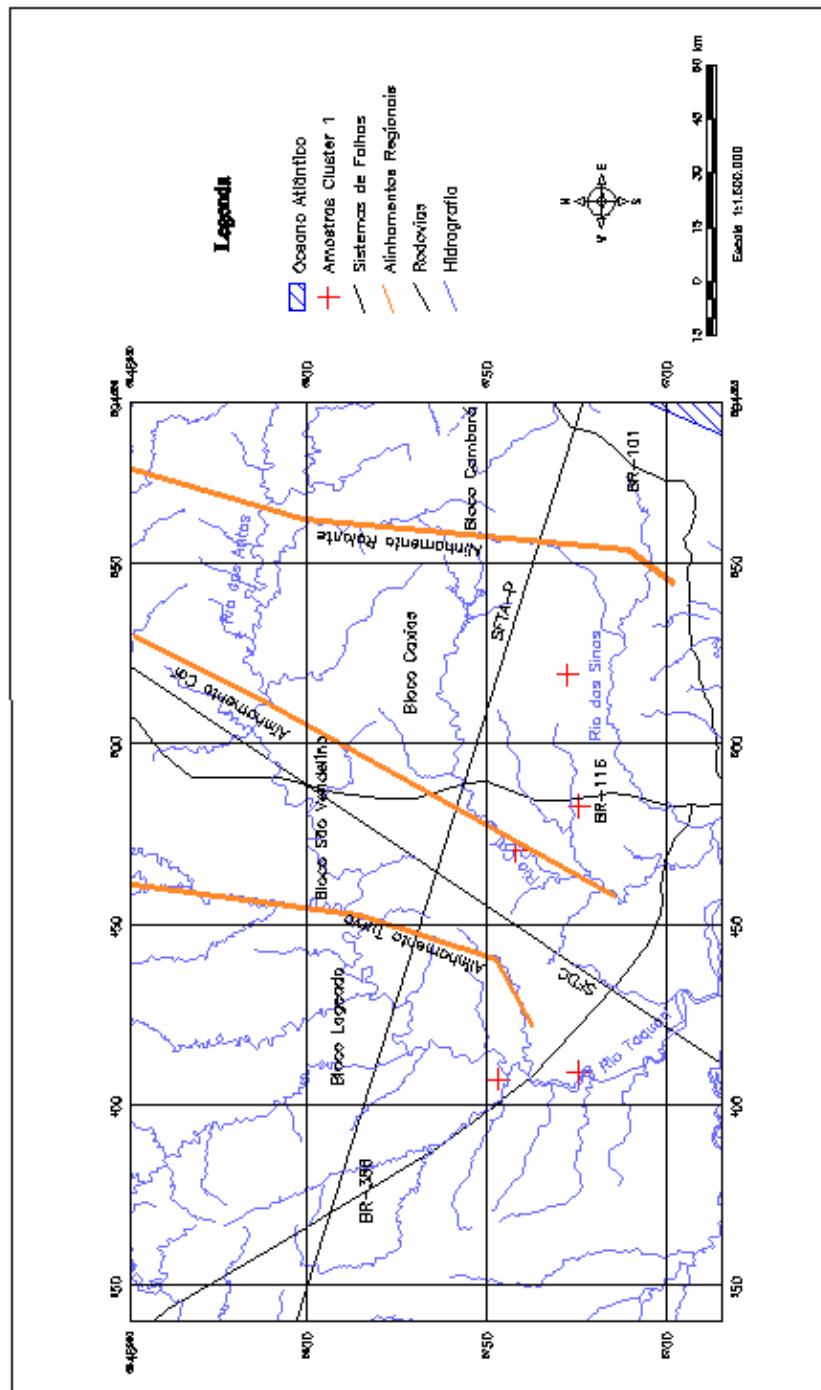
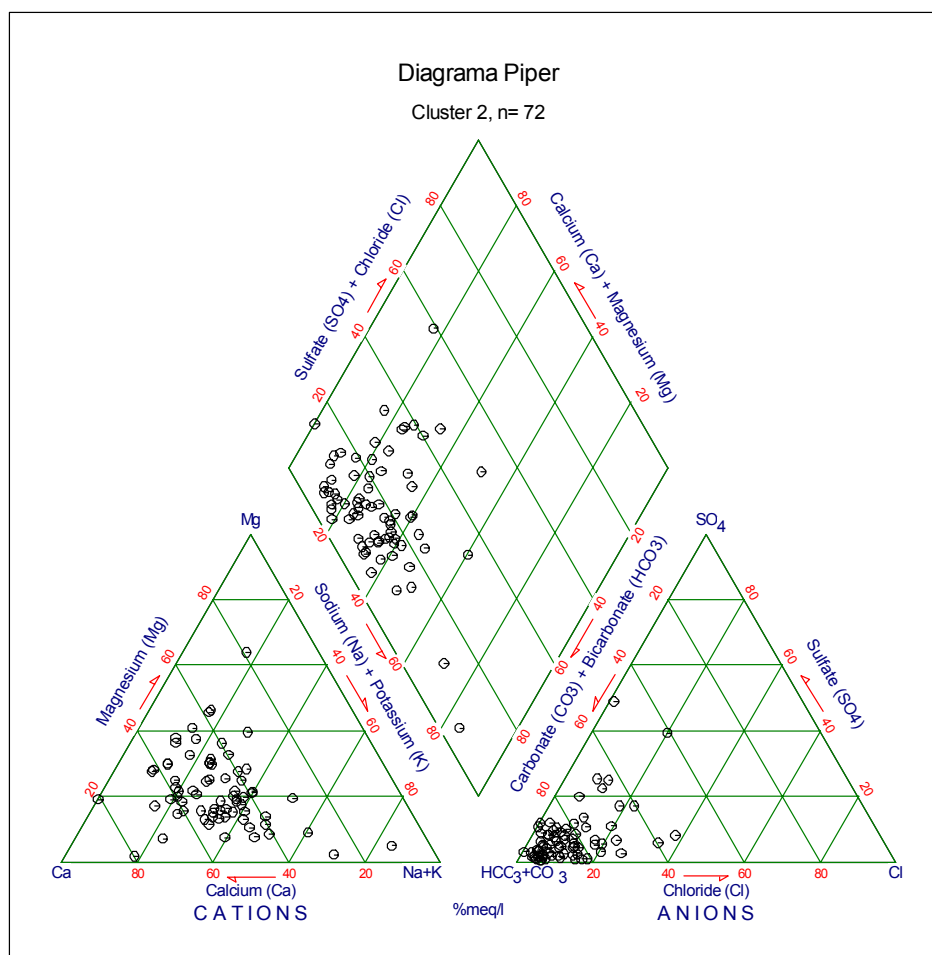


FIGURA 34 - Distribuição especial das amostras do cluster 1.

Cluster 2 - Representa o cluster mais numeroso, com 72 amostras, tendo como característica fundamental o baixo conteúdo iônico, i.e, concentrações menores de todos cátions e ânions, em relação aos demais clusters (GRAF. 02, 05 e 06). São águas bicarbonatadas cálcico-sódicas, com menor incidência de cálcico-magnesianas e bicarbonatadas cálcicas, sendo rara a ocorrência de águas sulfatadas (GRAF. 07).

GRÁFICO 07
Diagrama Piper das amostras do *cluster 2*



As águas deste grupo são distribuídas em toda a área de estudo, mas predominam ao norte, onde os poços situam-se no pacote vulcânico (FIG. 35). São águas com baixo tempo de residência e pequena interação água-rocha, constituindo o agrupamento mais próximo da composição de águas meteóricas. A ocorrência de amostras sulfatadas demonstra a influência da interação de águas ascendentes com as formações sedimentares permianas e triássicas sotopostas.

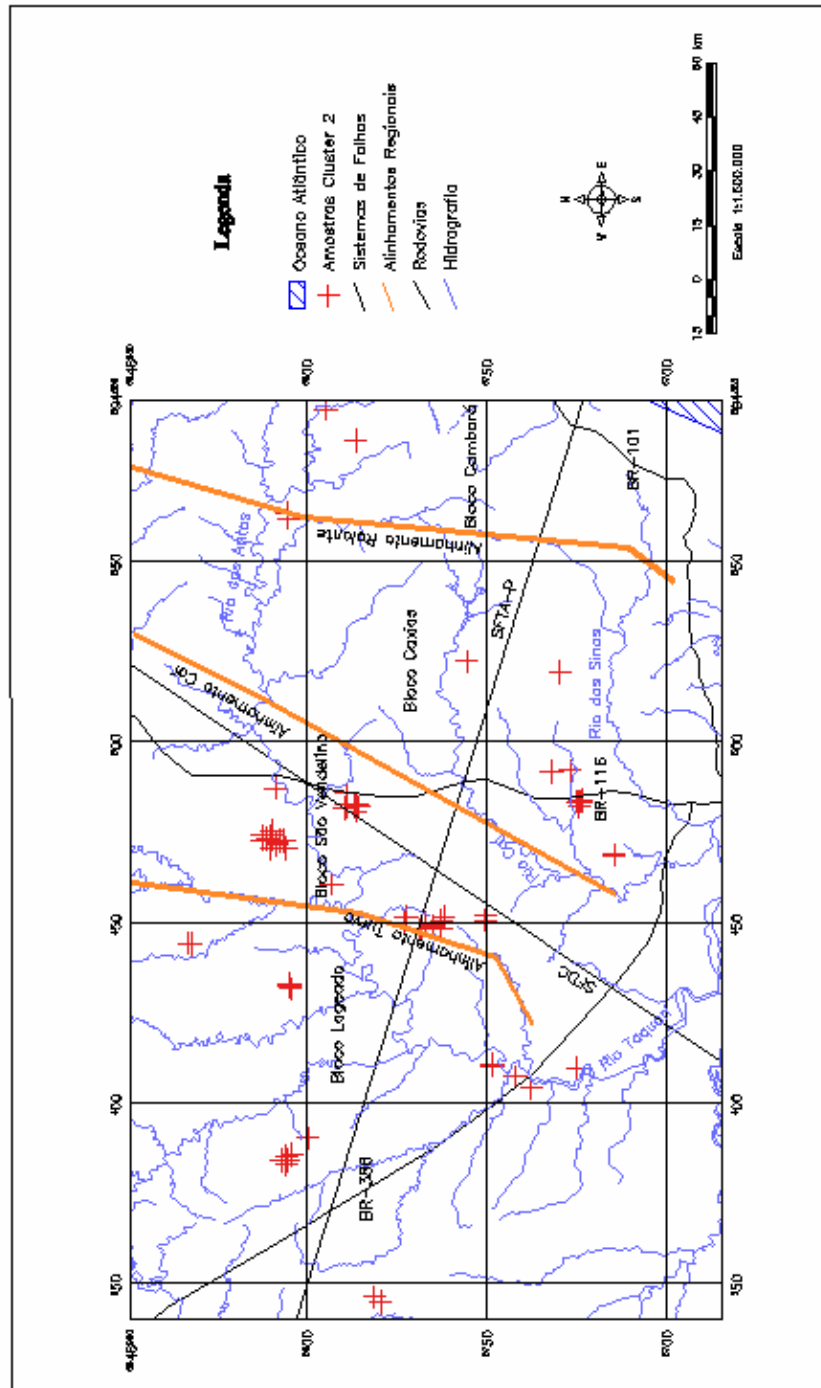


FIGURA 35 - Distribuição especial das amostras do cluster 2.

Cluster 3 - É composto por 27 amostras que apresentam similaridade com as do *cluster 2*, havendo, no entanto, valores médios mais elevados de cálcio, magnésio, alcalinidade e STD. Nos gráficos binários mostram-se contíguos com as amostras do *cluster 2*, sugerindo evolução a partir do mesmo e um maior tempo de interação água-rocha (GRAF. 02, 05, 06 e 08). São águas extremamente bicarbonatadas classificadas como bicarbonatadas cálcicas a cálcico-magnesianas (GRAF. 09), que se correlaciona com os números mais elevados de alcalinidade e STD.

GRÁFICO 08
Gráfico binário de Ca^{++} vs. STD

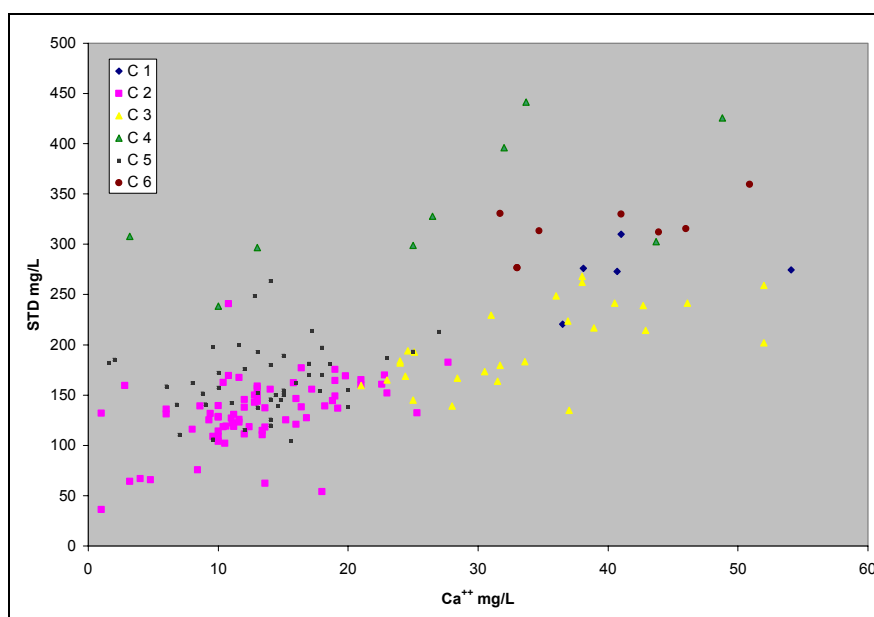
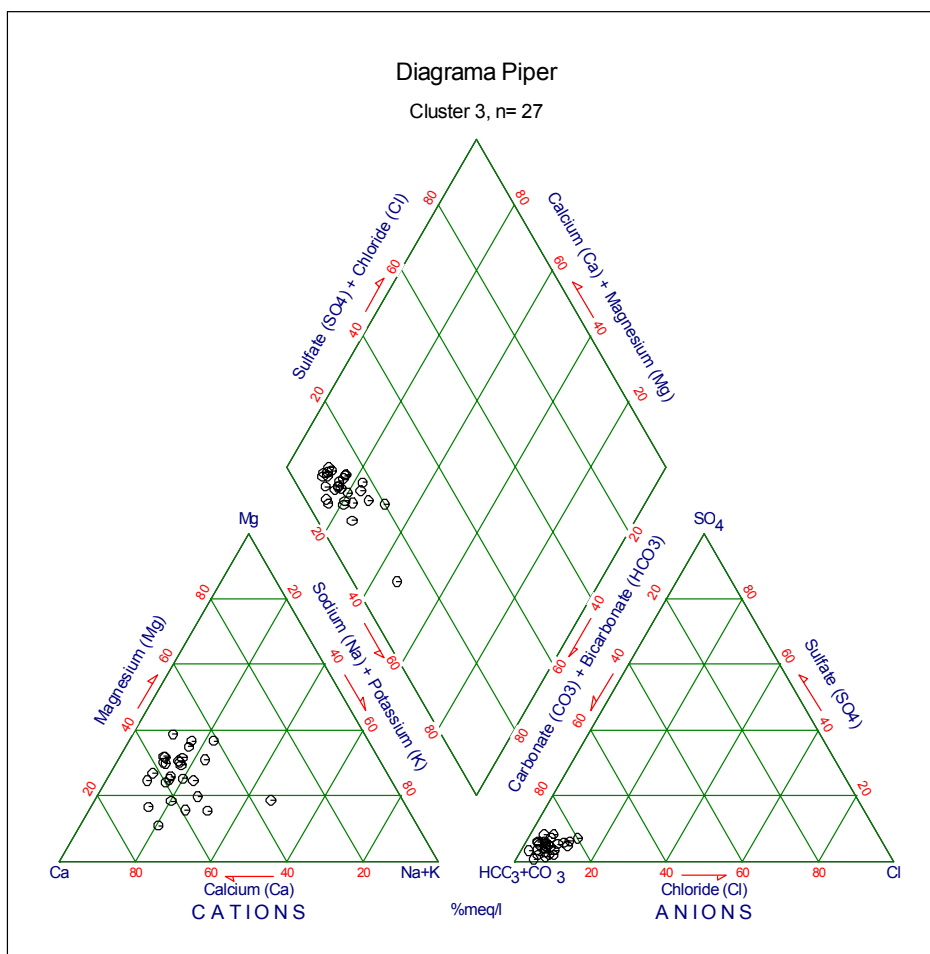


GRÁFICO 09
Diagrama Piper das amostras do *cluster 3*



Ocorrem dominantes no sul da área de estudo (e ao sul do SFTA-P), concentradas nos Blocos Tectônicos Caxias e São Vendelino (FIG. 36). Os poços estão localizados em áreas das formações sedimentares ou com pouca espessura de rocha vulcânica, com exceção de duas amostras que ocorrem na região de Cambará do Sul, onde o pacote vulcânico possui cerca de 800 metros. Neste caso, os poços encontram-se nas imediações ou sobre o Alinhamento Rolante, o que pode significar a ascensão de águas a partir das camadas sedimentares gondwânicas sotopostas ou das camadas basais da Formação Serra Geral, conforme o *cluster 1*.

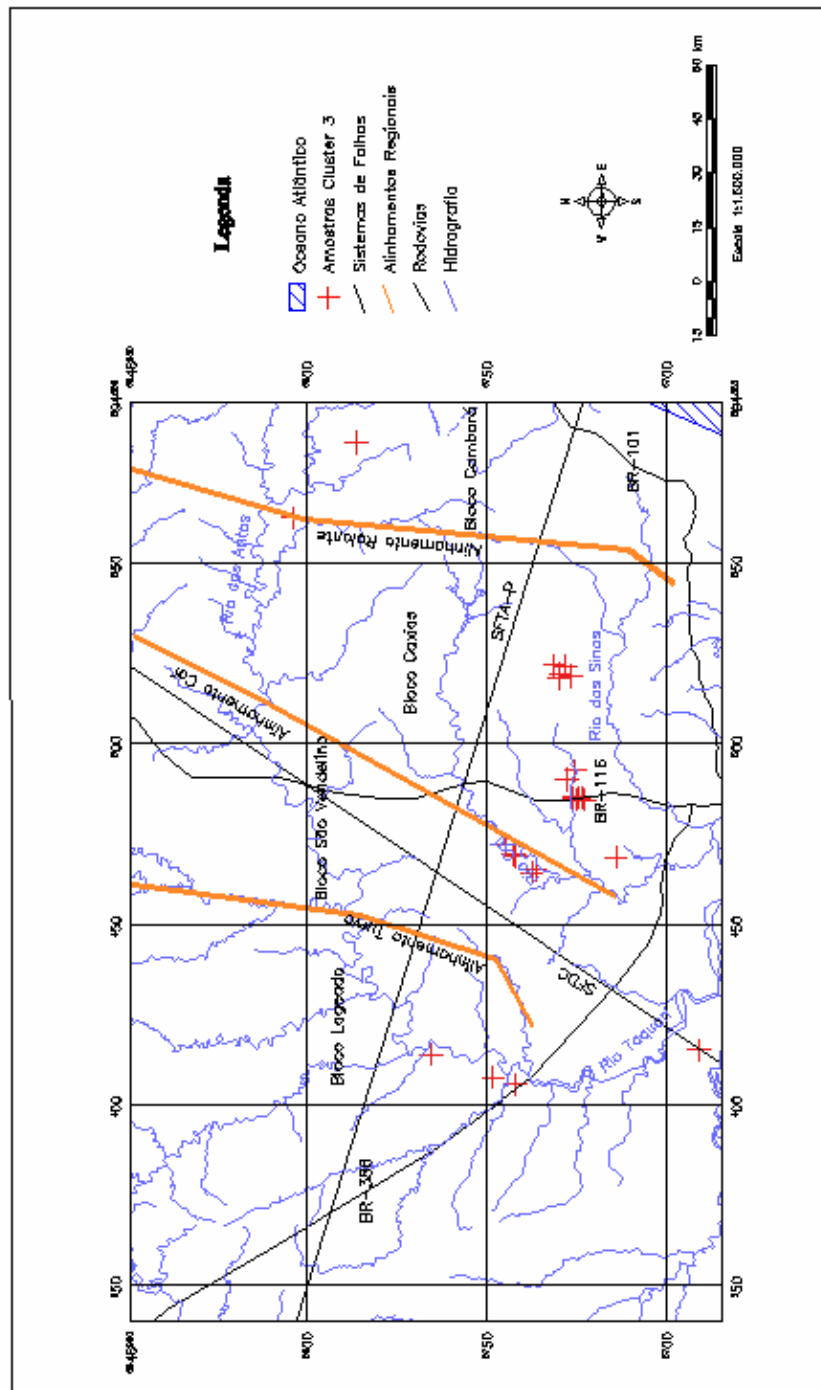


FIGURA 36 - Distribuição especial das amostras do cluster 3.

Cluster 4 – É constituído por 9 amostras e se diferencia dos demais agrupamentos por uma maior dispersão dos valores de flúor, cálcio, sódio, cloreto e sulfato, enquanto as concentrações de cloreto, sulfato, sódio, STD e flúor são as mais elevadas (GRAF. 02, 10 e 11). Em razão da dispersão de valores a classificação das águas varia de bicarbonatadas, sulfatadas a cloretadas, dominando as águas sódicas e magnesianas (GRAF. 12).

GRÁFICO 10
Gráfico binário de F^- vs. Cl^-

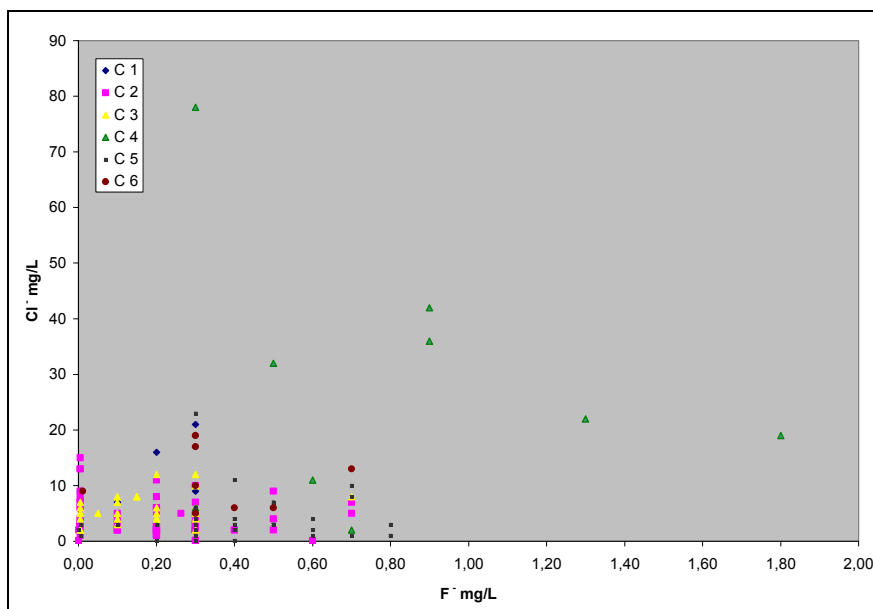


GRÁFICO 11
Gráfico binário de alcalinidade vs. Na^+

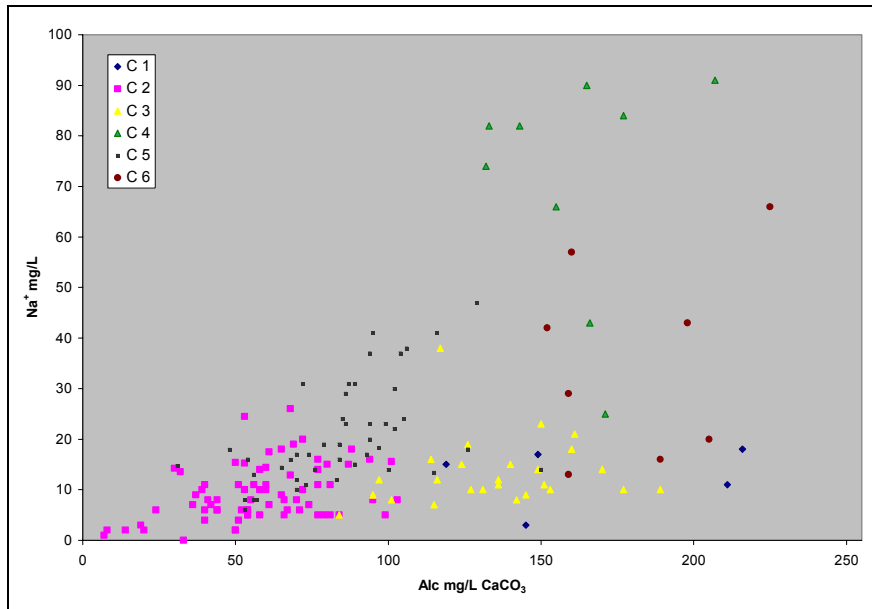
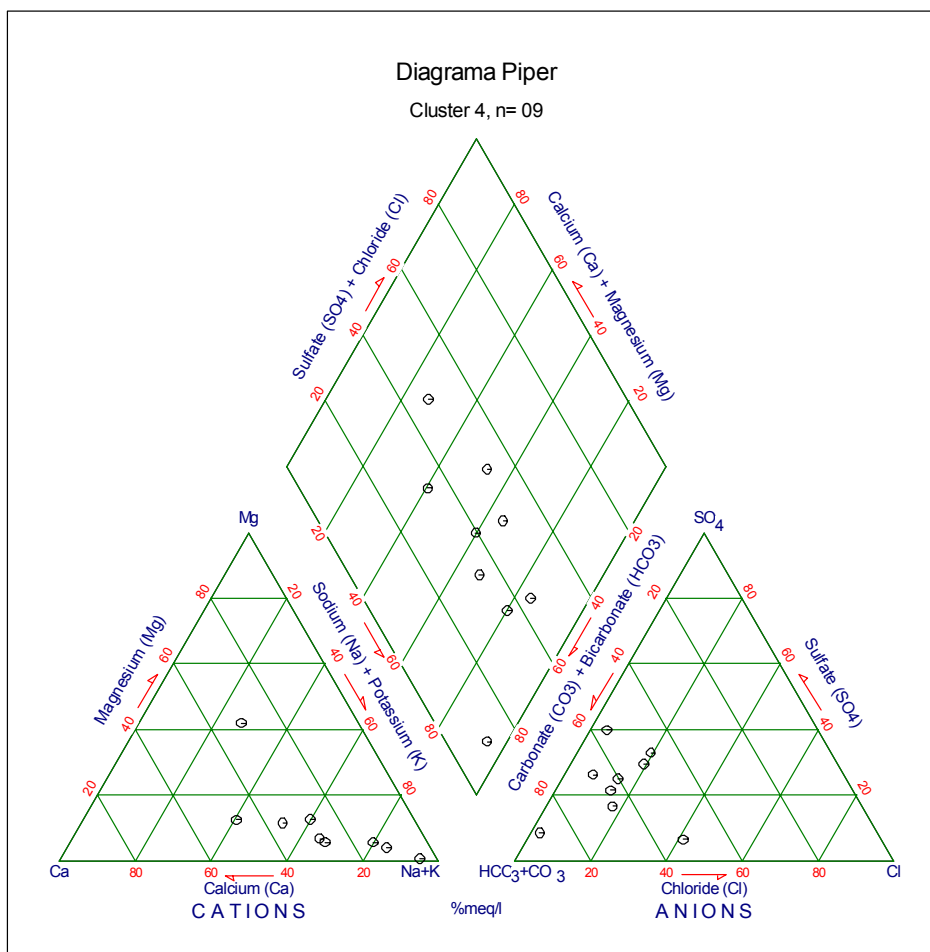


GRÁFICO 12
Diagrama Piper das amostras do *cluster 4*



As águas deste *cluster* ocorrem principalmente no centro-oeste da área de estudo, próximo ao SFTA-P, em locais de pouca a média espessura de rochas vulcânicas, havendo boa correlação com os lineamentos de médio porte (FIG. 37). A variada gama composicional e a elevada concentração de alguns elementos considerados traçadores, em especial o sulfato e cloreto, é decorrente de águas ascendentes com médio a longo tempo de residência em formações permianas e triássicas da base do SAG. A Formação Botucatu, tendo composição de quartzarenito a

arenito subarcoseano, não possui mineralogia compatível para o enriquecimento desses elementos, da mesma forma que as vulcânicas da Formação Serra Geral, que possuem influência direta das águas meteóricas.

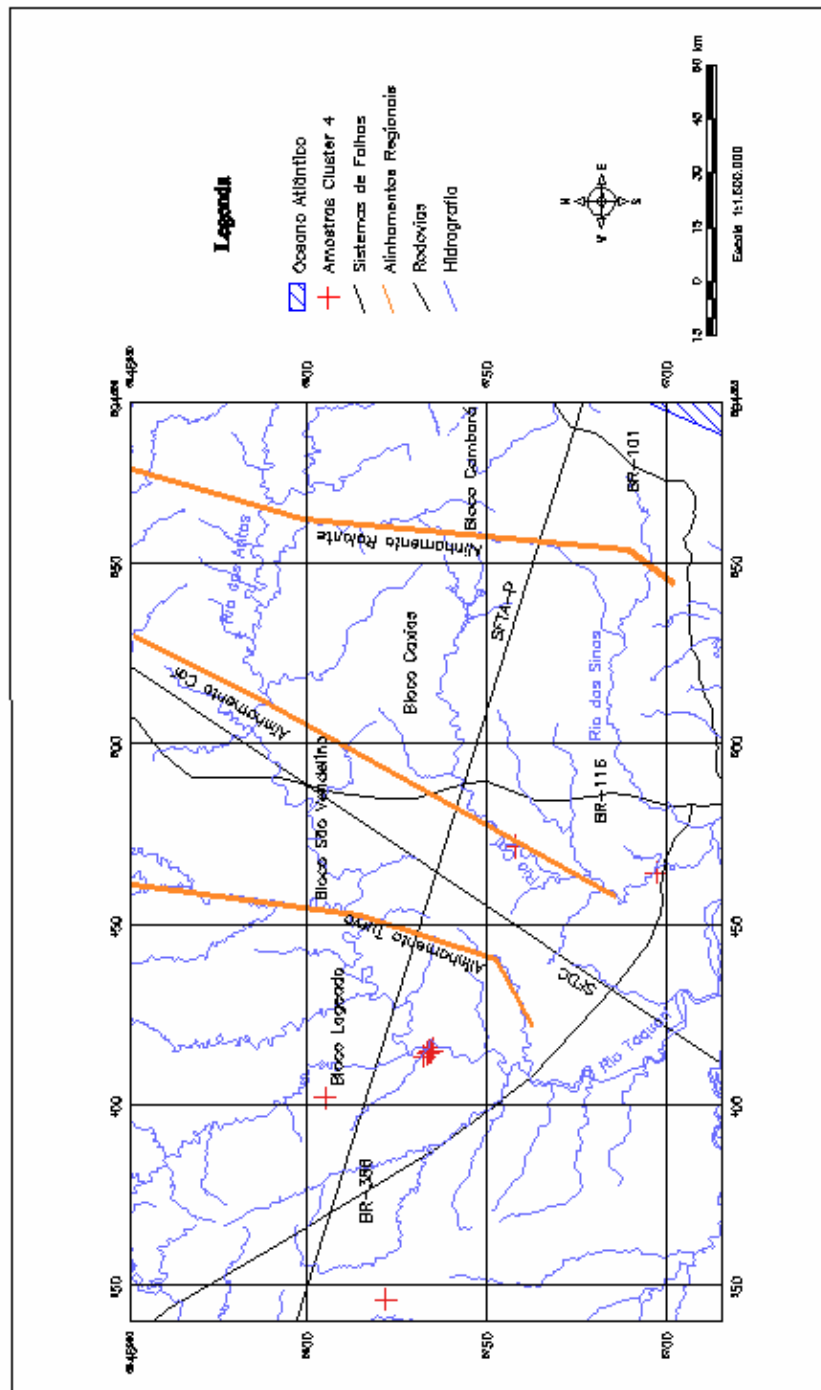


FIGURA 37 - Distribuição especial das amostras do cluster 4.

Cluster 5 – Representa o segundo *cluster* mais numeroso, com 45 amostras, e mostra similaridade com o *cluster 2*, com o qual forma *trends* contínuos em gráficos binários, em posição de enriquecimento elemental, assim como ocorre no *cluster 3*, cujo campo pode ser separado em vários elementos. Destaca-se pelo valor médio pouco mais elevado de pH em relação aos demais agrupamentos e pela boa correlação positiva de pH vs. Na, Na vs. STD e STD vs. pH (GRAF. 02, 13, 14 e 15). O diagrama de PIPER demonstra que águas pertencentes a este agrupamento possuem caráter ligeiramente mais sódico, sendo classificadas como bicarbonatadas sódico-cálcicas, com poucas cloretadas e sulfatadas (GRAF. 16).

GRÁFICO 13
Gráfico binário de pH vs. Na⁺

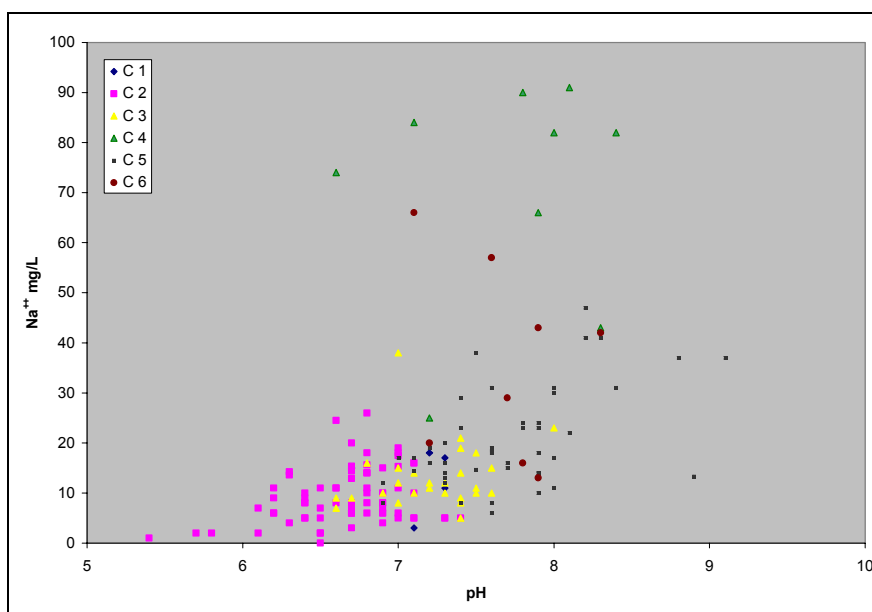


GRÁFICO 14
Gráfico binário de Na⁺ vs. STD

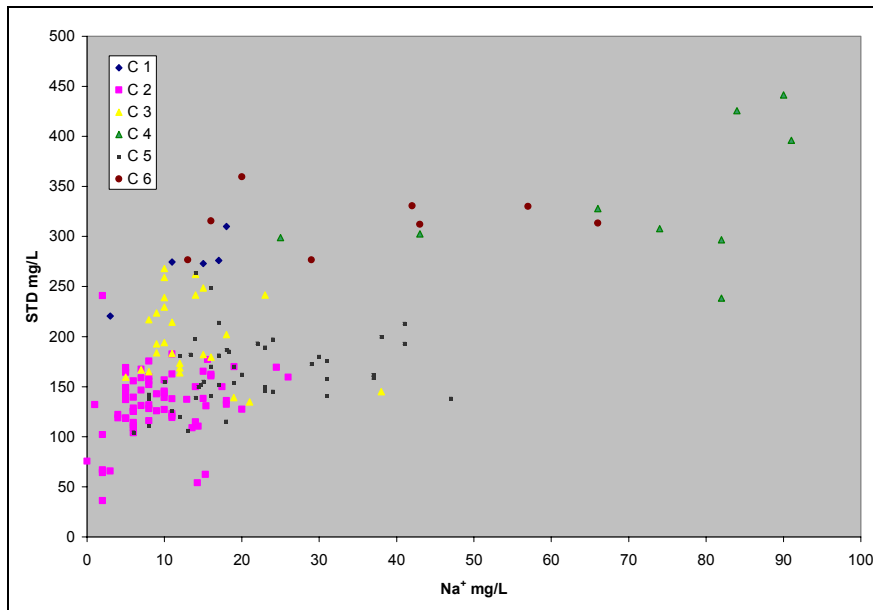


GRÁFICO 15
Gráfico binário de pH vs. STD

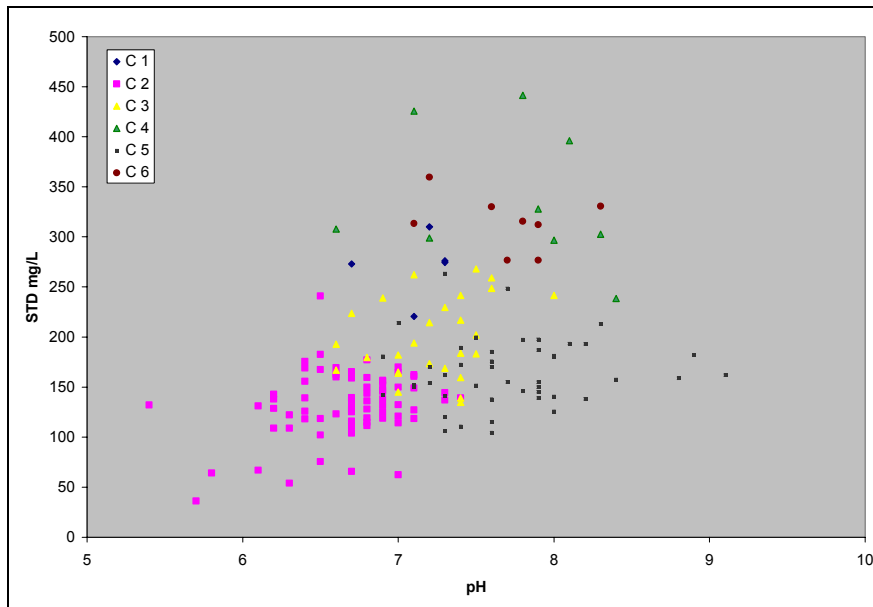
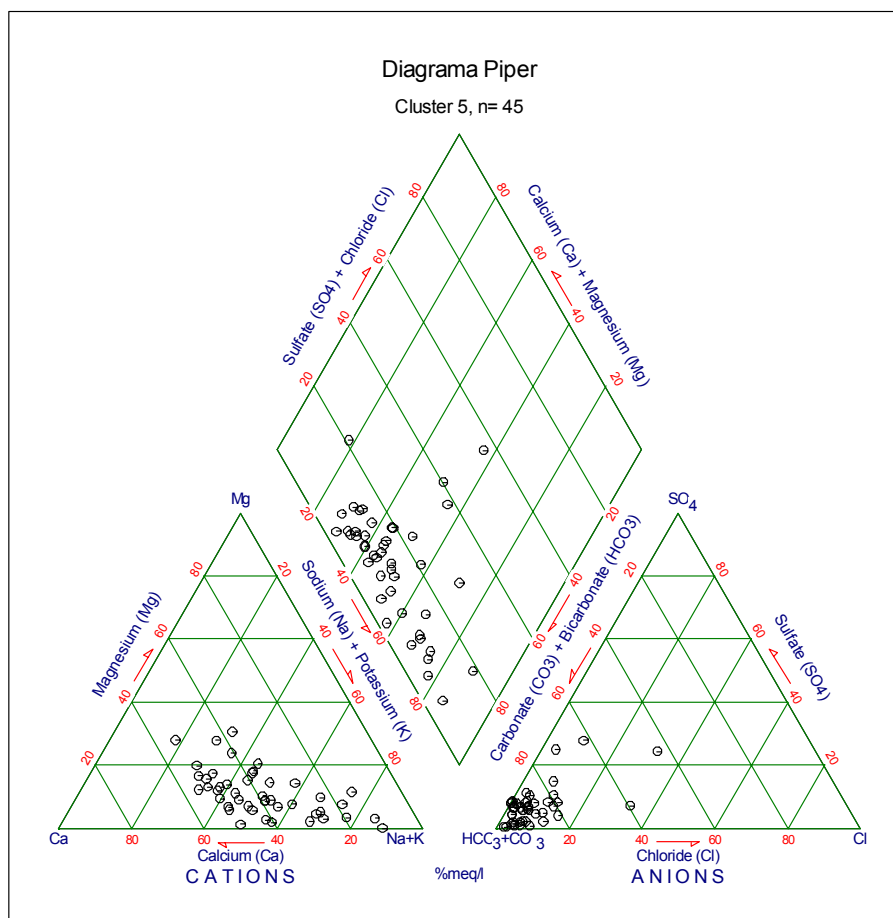


GRÁFICO 16
Diagrama Piper das amostras do *cluster 5*



As águas deste cluster ocorrem em toda área estudada, mas concentram-se ao norte do SFTA-P, o equivale dizer que predominam na área do pacote vulcânico (FIG. 38). Assim, a composição hidroquímica destas águas aparentemente apresenta vinculação com as rochas vulcânicas, havendo um maior tempo de interação água-rocha que no *cluster 2*.

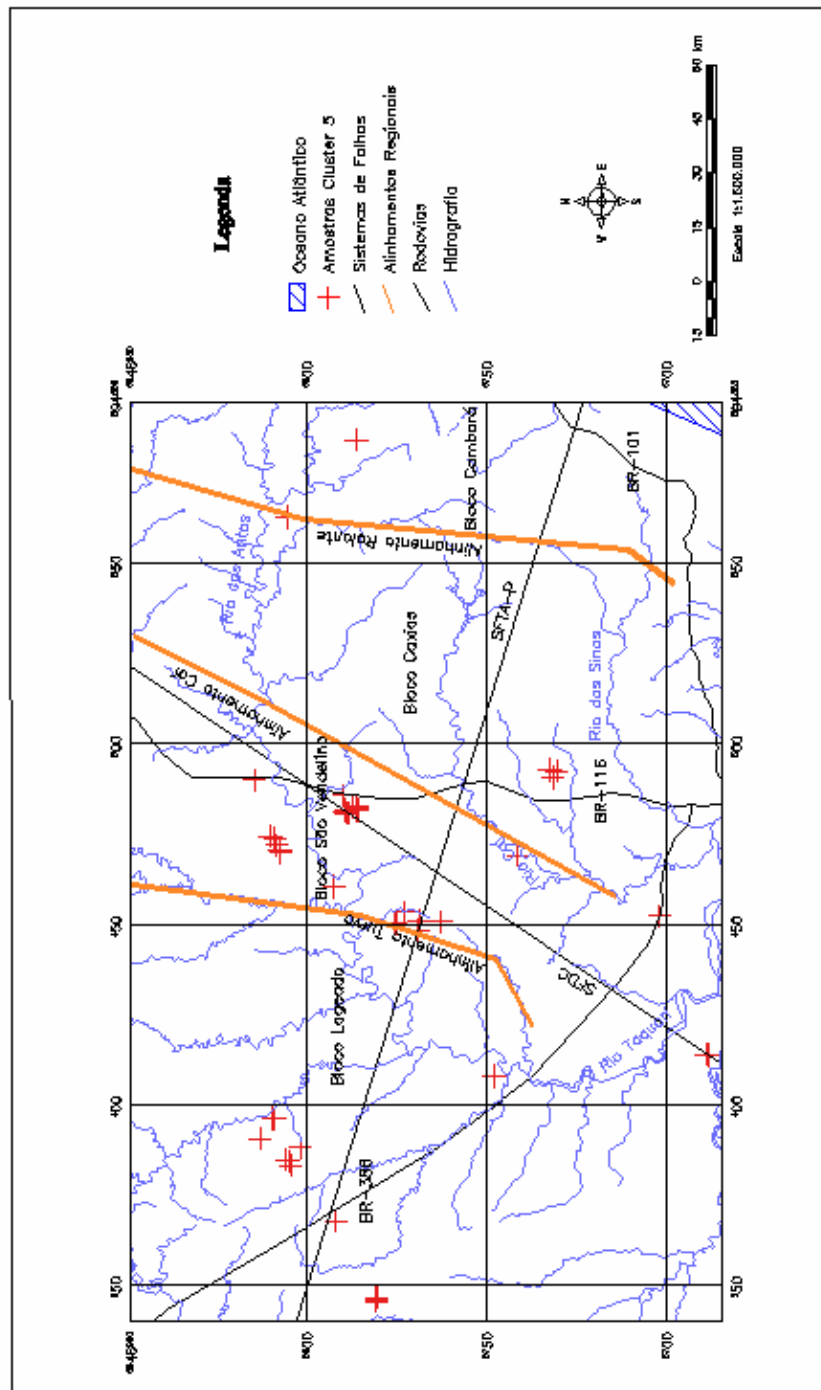
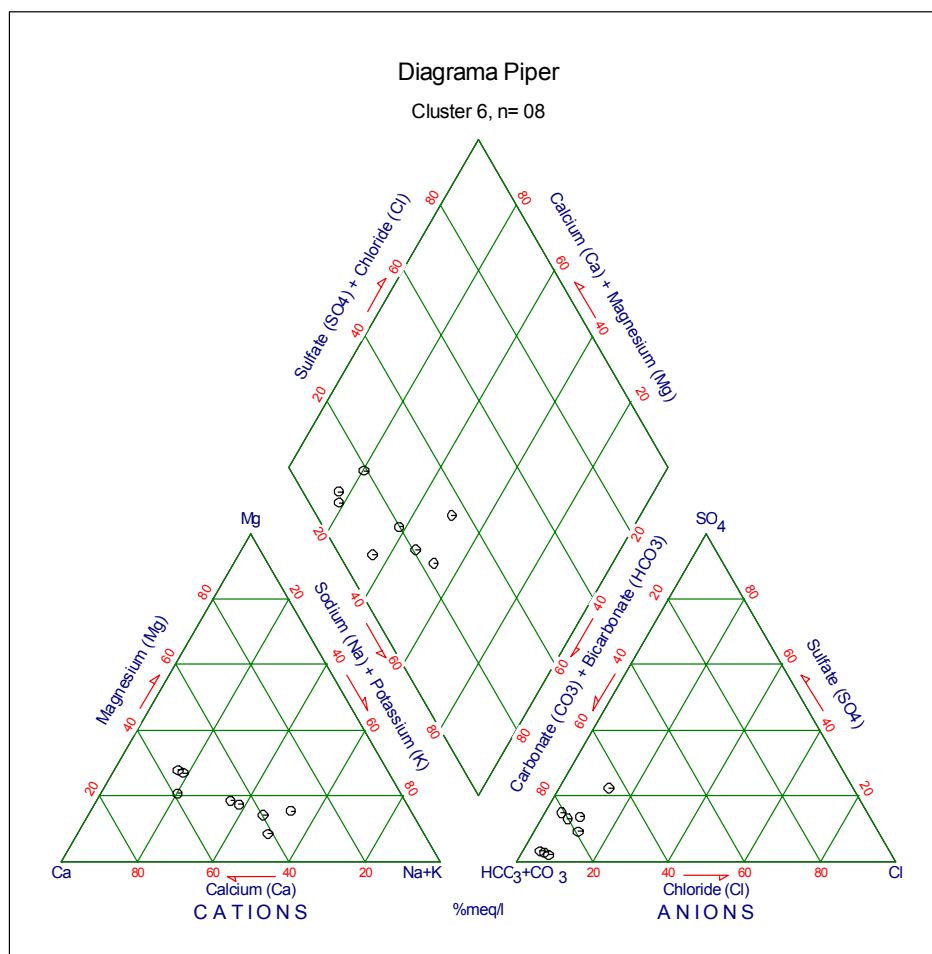


FIGURA 38 - Distribuição especial das amostras do cluster 3.

Cluster 6 – As 8 amostras deste agrupamento constituem águas bicarbonatadas cálcico-sódicas (GRAF. 17), que se destacam pelos valores médios mais elevados de alcalinidade, cálcio e STD, enquanto é mais discreto o enriquecimento em sódio (GRAF. 02, 05 e 06).

GRÁFICO 17
Diagrama Piper das amostras do *cluster 6*



Estas águas ocorrem no centro-sul da área estudada e ao sul do SFTA-P, onde predominam as rochas do pacote sedimentar gondwânico, com pouca espessura de rochas vulcânicas sobrepostas (FIG. 39). Os valores relativamente elevados de sódio, cálcio e alcalinidade sugerem nestas águas a interação com formações sedimentares permianas e triássicas basais do SAG e que estejam ascendendo por fraturas.

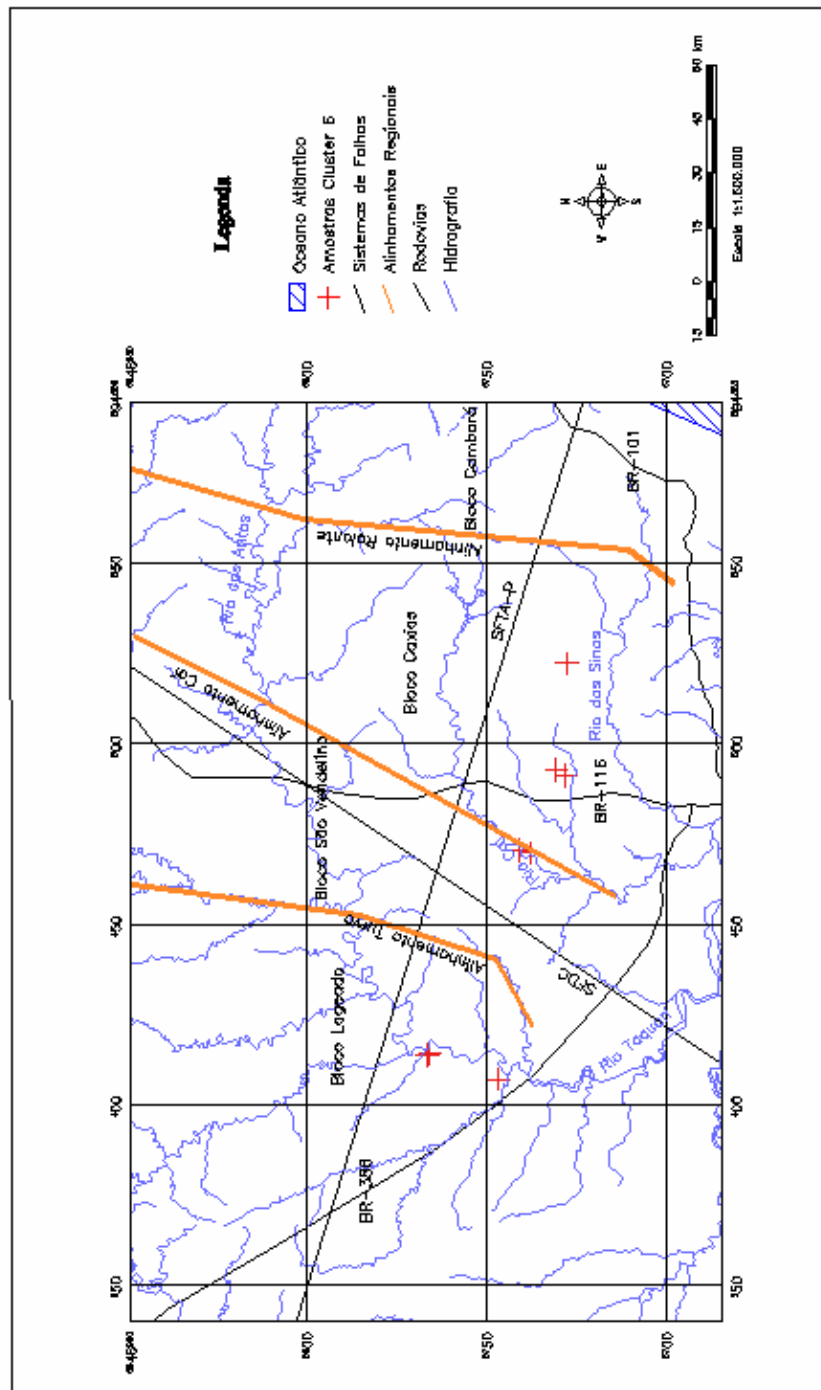


FIGURA 39 - Distribuição especial das amostras do cluster 6.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A integração dos dados estruturais, geomorfológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos permitiram reconhecer parâmetros condicionantes e padrões para os sistemas aquíferos estudados na área.

A utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o Programa SPRING, para a criação e gerenciamento de um banco de dados com os mais variados tipos de informações, mostrou-se uma excelente ferramenta para a superposição dos dados, interpretação e geração de resultados em base georreferenciada.

A caracterização geomorfológica da área foi útil para o reconhecimento de áreas potenciais de recarga e descarga, dando uma idéia inicial e regional a partir de elementos físicos de fácil detecção e interpretação. A UGP é a principal área de recarga, enquanto a UGE e a UGS são principalmente áreas de descarga.

O tratamento por filtragem através do programa SPRING permitiu definir a distribuição espacial dos lineamentos por extensão, direção dominante e áreas de maior densidade. Os lineamentos de pequeno porte dominam no nordeste da área e são na maioria de direção NE. Os lineamentos de médio porte dominam no centro da área e são na maioria de direção NW.

O levantamento de perfis, seções geológicas e colunas estratigráficas no campo, combinado com a filtragem de lineamentos, foi determinante para a identificação de blocos e movimentos tectônicos na área em estudo. Foram definidos três alinhamentos regionais de orientação NE (Alinhamento Rolante, Alinhamento Caí e Alinhamento Turvo), que compartimentam a área em quatro blocos tectono-estruturais denominados Bloco Cambará, Bloco Caxias, Bloco São Vendelino e Bloco Lageado. O

Bloco Cambará, situado na região leste, é o mais soerguido, enquanto o Bloco Lageado na região oeste é mais rebaixado.

A variação do potencial hidrogeológico na área, estudado a partir do valor de vazão específica dos poços tubulares inventariados, demonstrou a influência das estruturas tectônicas regionais, especial no SASG. Na área em tela, não houve uma boa correlação da densidade de lineamentos com o potencial de produção, à exceção da porção central da área, mas observou-se boa correlação com os lineamentos de médio porte, principalmente os de direção NW. Os blocos tectono-estruturais também não mostraram boa correlação com o potencial de exploração dos poços.

O SAG apresenta comportamento de um sistema aquífero misto, em geral com bom potencial de produção e, na presença de lineamentos de médio porte, tem sua vazão específica aumentada. Os poços com maior vazão específica ocorrem na região adjacente ao SFTA-P, que foi identificada em estudos anteriores como área de acumulação do SAG.

O tratamento estatístico das análises das águas subterrâneas individualizou seis agrupamentos com características distintas, que permitem correlacionar tipos hidroquímicos e geologia dos sistemas aquíferos, indicando origem e grau de interação água-rocha. A composição das águas, de acordo com o diagrama PIPER é predominantemente bicarbonatadas cálcicas e/ou sódicas, com incidência relativamente pequena de águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas e raras de águas sulfatadas e cloretadas.

Os diagramas binários de variação hidroquímica ressaltam a evolução geoquímica das águas. O *cluster 2* mostrou-se um tipo de água inicial, com composição próxima a de águas meteóricas. Os *clusters 3* e *5* aparecem como uma continuidade do *cluster 2*, seguindo a mesma linha de tendência, o que sugere a mistura de águas de

diferentes aquíferos. Nos valores mais elevados de Ca^{++} e Na^+ os dois *clusters* distanciam-se, representando aquíferos com características próprias.

As amostras dos *clusters* 1, 4 e 6 possuem conteúdo iônico mais elevado e, em consequência, nos diagramas binários situam-se na parte distal das linhas de tendência para a maioria dos parâmetros, podendo formar concentrações isoladas de pontos, o que é compatível com fontes distintas.

As amostras dos *clusters* 1, 3, 4 e 6, têm sua composição decorrente da interação água-pacote sedimentar gondwânico com pouca influência do pacote vulcânico da Formação Serra Geral, ocorrendo, em especial, ao sul do SFTA-P. Apresentam valores mais elevados em vários parâmetros físico-químicos. Raras amostras destes grupos situam-se na região onde o pacote vulcânico é mais espesso e, quando ocorrem, estão localizadas próximas a lineamentos de médio porte, sugerindo ascensão de água subterrânea do SAG para o SASG. Este fato é corroborado pela captação de águas subterrâneas quimicamente compatíveis com aquíferos gondwânicos, em locais com mais de 900 metros de espessura de pacote vulcânico, próximo ao Alinhamento Rolante.

As amostras com relativamente baixo conteúdo iônico pertencem aos *clusters* 2 e 5 e são amplamente distribuídas na área, possuindo maior incidência em setores mais espessos do SASG e ao norte do SFTA-P. O domínio dessas águas no SASG sugere eficiente drenagem do sistema aquífero e tempo de residência relativamente pequeno, descarregando no SAG sotoposto ou nos cursos d'água superficiais próximos.

A tectônica rúptil está exercendo sua maior influência através dos lineamentos e não dos blocos tectono-estruturais. Pela distribuição dos *clusters*, observou-se a ocorrência dos tipos hidroquímicos do SAG no SASG sempre próximo a

lineamentos de médio porte, principalmente quando a norte do SFTA-P. Os valores mais altos de vazão específica também estão correlacionados com lineamentos de médio porte. Estas características mostram a ascensão de água do SAG para o SASG e a importância dos lineamentos no condicionamento dos sistemas aquíferos da área em estudo.

10. BIBLIOGRAFIA

- Araújo, L.M.; França, A.B. & Potter, P.E., 1995. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. **Imprensa** – UFPR, Curitiba. 16 p.

- Araújo, L.M.; França, A.B. & Potter, P.E., 1999. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. **Hydrogeology Journal**. V. 7, p. 317-336.

- Bellieni, G.; Comim-Chiaramonti, P.; Marques, L. S.; Melfi, A. J.; Nardy, A. J. R.; Papatrechas, C.; Piccirillo, E. M.; Roisenberg, A. & Stolfa, D. 1986. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): mineralogical and petrochemical relationships. **Journal of Petrology**, V. 27, p. 915-944.

- Bellieni, G.; Comim-Chiaramonti, P.; Marques, L. S.; Melfi, A. J.; Nardy, A. J. R.; Papatrechas, C.; Piccirillo, E. M.; Roisenberg, A. & Stolfa, D. 1984. High and low TiO₂ flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): Petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Neues Jahrbuch Miner. Abh.**, V. 150, p. 273-306.

- Bigarella, J.J. & Salamuni, R. 1961. Early Mesozoic wind patterns as suggested by dune bedding in the Botucatu Sandstone of Brazil and Uruguay. **Geological Society American Bulletin**. V.72, p.1089-1106.

- Bossi, J.; Ledesma, J.J.; Carballo, E.F. & Navarro. 1974. Resumen de los conocimientos actuales sobre los derrames basálticos del noroeste del Uruguay. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre, SBG. v.4, p. 51-60.

- Brasil. Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul, SUDESUL. 1969. *Projeto Sudoeste, 1: Plano Agro-Hidrológico da Região Sul*. Porto Alegre, 2V, 249p.

- Brown, A. G.; Bradley, C.. 1995. Geomorphology and Groundwater: Convergence and Diversification. **Geomorphology and Groundwater**. John Wiley & Sons Ltd, p. 1-20.
- Burke, J. J.. 1995. Hydrogeological Provinces in Central Sudan: Morphostructural and Hydrogeomorphological Controls. **Geomorphology and Groundwater**. John Wiley & Sons Ltd, p. 177 – 208.
- Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun.
- Chilingar, G.V. 1963. Relationship between porosity, permeability and grain size distribution of sands and sandstones. In: INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGY CONGRESS, Amsterdam.
- Costa, A.F. 1999. Levantamento geofísico na área da Usina Termoelétrica da AES em Uruguaiana, RS. Inédito.
- Courtillot, V.; Besse, D.; Vandamme, R.; Montigny, R.; Jaeger, J.J. & Cappetta, H. 1986. deccan flood basalts at Cretaceuos/Tertiary boundary? **Earth and Planetary Science Letter**, v.80, p.361-374.
- Davis, S.N. 1969. Porosity and permeability of natural materials. In: **Flow through porous media**. New York: Academic Press, p.54-89.
- Deutsch, W. J. 1997. **Groundwater Geochemistry, Fundamentals and Applications to Contamination**. New York: Lewis Publ.
- Diller, J.S. 1889. Sandstone dikes. **Geological Society of American Bulletin**, v.1, p.411-442.
- Eilers, V.H.M. 1993. *Análise hidrogeológica da região sudoeste do Rio Grande do Sul através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. 119p.

- Eilers, V. H., Caicedo, N. L. & Lisboa, N. A., 1993. Análise hidrogeológica da região sudoeste do Rio Grande do Sul através de técnicas de sensoriamento remoto e do uso do sistema geográfico de informações. In; 'SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL, 1, Gramado. Anais v. 2, p. 131-141.

- Ely, G.L. 2002. *Geoprocessamento e sensoriamento remoto empregados no exame dos fatores que controlam os teores de nitrato e fluoreto no Sistema Aquífero Fraturado do município de Porto Alegre*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Engmann, E.T. & Gurney, R.J. 1991. **Remote Sensing in Hydrology**. Chapman and Hall. N.York. 225p.

- ENSR. 1999. Caracterização do Aquífero e Análise de Possíveis Impactos, *Usina Termoelétrica Uruguaiana*. **Relatório de Prestação de Serviço**.

- Erlank, A.J.; Marsh, J.S.; Duncan, A.R.; Miller, R. McG.; Hawkesworth, C.J.; BETTON, P.J. & Rex, D.C. 1984. Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from SWA/Namíbia. **Special Publication of Geological Society of South Africa**, v.13, p.195-245.

- Faccini, U.F. 1989. *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais*. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Feitosa, F.A.C. 1997. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza, CPRM, LABHID-UFPE, 412p.

- Fetter, C. W. 1994. **Applied Hydrogeology**. New Jersey, PRENTICE-HALL, 691p.

- Foster, S.S.D. & Hirata, R.C.A., 1988. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 78. p.

- França, A. B.; Araújo, L. M.; Maynard, J. B. & Potter, P. E. 2003. Secondary porosity formed by deep meteoric leaching: Botucatu eolianite, southern South America. **AAPG Bulletin**, V. 87. n° 7 (July 2003) pp. 1073-1082.
- Frasca, A. A. & Lisboa, N. A., 1993. Contribuição do sensoriamento remoto na compartimentação morfotectônica e morfoestrutural da Bacia do Paraná, Grupo São Bento, RS. e suas relações com as estruturas regionais do embasamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba. Anais, v. 3, p. 211-220.
- Freeze, R.A. & Cherry, J.A. 1979. **Groundwater**. New Jersey: Prentice-Hall, 604p.
- Gamermann, N. 1973. Formação Rosário do Sul. **Pesquisas**, v.2, p.5-36.
- Garcia, P.F. & Marinho, D.A. 1980. Aspectos genéticos das rochas ácidas da Formação Serra Geral nas Folhas de Uruguaiana (SH-21) e Porto Alegre (SH-22). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Balneário Camboriu, Anais, SBG, v.4.
- Hamblin, W.K. & Christiansen, E.H. 1998. **Earth's dynamic system**. 8ª ed. Prentice-Hall, New Jersey, 740p.
- Hancock, P. L.. 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. **Journal of Structural Geology**. V. 7, n° ¾, p. 437-457.
- Hausman, A. 1963. **Glossário hidrogeológico**. Porto Alegre, 166p.
- Hem, J.D. 1970. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 2ª ed. Geological Survey Water-Supply Paper 1473, United States Government Printing Office, Washington, 363p.
- IBGE. 1986. **Levantamento dos recursos naturais**, geomorfologia, v.33, p.313-388.
- Jooly, R.J.H. & Lonergan, L. 2002. Mechanisms and controls on the formation of sand intrusions. **Journal of Geological Society**, London, v.159, p.605-617.

- Kruck, W. 1992. Interpretation of satellite data with special regard to hydrogeology. **Hidrogeologie**, n. 1-2, 1992, p. 113-118.
- Leinz, V. 1949. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do Sul do Brasil. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo**, v.103 (3), p.1-61.
- Legrand, H.E. 1954. Geology and groundwater in the Statesville area, North Carolina. North Carolina Dep. Conserv. and Develop. **Div. Min. Res. Bull.**, n.68.
- Legrand, H.E. 1962. Perspective on problems of hydrogeology. **Geological Society American Bulletin**, v.73, p.1147-1152.
- Lisboa, N.A. 1990. Aspectos morfoestruturais e geomorfogenéticos do extremo sul-ocidental do Planalto Meridional, Quaraí, RS. **Ciência e Natura**, 12: 105-109.
- Lisboa, N. A., 1993. Compartimentação hidrogeológica e diferenciações hidrogeoquímicas em aquíferos do extremo sul do Planalto Meridional, RS. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL, 1, Gramado. Anais, v. 4, p. 539-548.
- Lisboa, N. A. & Menegotto, E., 1997. Diferenciações hidrogeoquímicas no Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, Vitória. Anais, v. 3, p. 489-498.
- Lisboa, N.A 1996. *Fácies, estratificação hidrogeoquímica e seus controladores hidrogeológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lisboa, N.A & Menegotto, E.. 1997. Diferenciações hidrogeoquímicas no Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XI. Anais, v.3, p.489-496.

- Machado, J. L. F.. 2005. *Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Marimon, M. P. C.; Roisenberg, A.; Viero, A. P.. 2006. Uso Combinado da Análise Estatística e do Modelamento Geoquímico no Estudo de Águas Subterrâneas Ricas em Flúor do Sistema Aquífero Guarani – RS, Sul do Brasil. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, no prelo.
- Martins, J.C.S. 1979. *Pesquisa sobre o aquífero basáltico da região sudoeste do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado em Hidrologia Aplicada, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- McPhie, J.; Doyle, M. & Allen, R. 1993. **Volcanic textures, a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks**. Australia, University of Tasmania.
- Menegotto, E. & Lisboa, N.A 1999. Condicionantes geoquímicas do Sistema Aquífero Serra Geral no rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA & CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 5 & 7. Anais. SBG, Porto Seguro.
- Milani, J.E. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a dinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. Tese de Doutorado em Geociências, 2v., Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Moreno, J.A.. 1961. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Seção de Geografia, Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, 42p.
- Newson, J.F. 1903. Clastic dykes. **Geological Society of American Bulletin**, v.14, p.227-268.
- Novo, E.M.L.M. 1995. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2ª ed. Edgard Blücher, São Paulo, 308p.

- Presotto, C.A. et al. 1973. Projeto hidrogeologia da fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul; **Relatório final**. Porto Alegre, CPRM. 263p.
- Ramage, L.; Roisenberg, A.; Viero, A. P.. 2006. Caracterização Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Granular Cenozóico de Porto Alegre – RS. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, no prelo.
- Roisenberg, A. & Viero, A.P. 2000. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L.F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, UFRGS, p.355-374.
- Scherer, C.M.S.; Faccini, U.F. & Lavina, E.L. 2000. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: Holz, M. & De Ros, L.F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, UFRGS, p.335-354.
- Scherer, C.M.S. 1998. *Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Neocomiano) no Estado do Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Schuck, M.T.G.O. & Lisboa, N.A. 1987. Identificação de padrões estruturais no Grupo São Bento, Quaraí, RS, através da análise de imagens orbitais e suborbitais. **Pesquisas**, nº 20, p.5-24.
- Schuck, M.T.G.O.; Lisboa, N.A.; Dani, N.; Haertel, V.. 1991. Correlação de Dados Morfotectônicos e Geomorfogenéticos na Pesquisa do Manto de Alteração de Rocha do Planalto Sul-Riograndense. **Revista Brasileira de Geociências**. V. 21, nº 4, p. 363 – 370.
- Stewart, K.; Turner, S.; Kelley, S.; Hanksworth, C.; Kirsten, L. & Mantovani, M. 1996. 3-D ⁴⁰Ar- ³⁹Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province. **Earth and Planetary Science Letters**, v.143, p.95-109.
- Strugale, M.; Rostirolla, S, P.; Filho, E. F. R.; Hindi, E. C.; Mancini, F.; Ferreira, F. J. F. & Freitas, R. C.. 2002. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, CD- ROM, 19 p.

- Takahashi, H. H., Haertel, V. & Lisboa, N. A., 1993. Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística em setor do Planalto Meridional, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba. Anais, v. 3, p. 332-350.