

V. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

5.1. INTRODUÇÃO

O comportamento hidrogeológico de uma dada região subordina-se a algumas considerações específicas, as quais irão determinar que papel a água subterrânea desempenha dentro do ciclo hidrológico regional.

O parâmetro fundamental é a constituição geológica da área. Os tipos litológicos existentes e a atividade tectônica desenvolvida sobre eles, definirão os aquíferos, sua posição e inter-relação, qualidade e possibilidade de aproveitamento.

A constituição morfológica da área, sua topografia e rede de drenagem, irão fornecer dados com relação à capacidade de infiltração, áreas de recarga e de descarga dos aquíferos.

As características climáticas, através do balanço hídrico, irão indicar a ordem de grandeza do volume de água disponível para a recarga dos aquíferos e indicar de maneira aproximada as reservas e potencialidades.

5.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para realizar o estudo dos sistemas aquíferos foi analisada uma série de trabalhos anteriores afins ao tema executados na região e proximidades. Trabalhos realizados nos setores oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná também foram consultados, devido à semelhança hidrogeológica dessas áreas.

Após, foram levantados os dados secundários de poços tubulares, através de suas fichas litológicas e construtivas, bem como as análises físico-químicas de águas executadas. As fontes consultadas foram a CORSAN, SOPS-PAP, CPRM e Formobra de Santa Rosa, que gentilmente cederam seus dados colaborando muito com este estudo. Foram priorizados os relatórios de poços que continham dados que indicassem sua posição geográfica como coordenadas geográficas determinadas por GPS ou croquis que possibilitassem seu georreferenciamento.

Com o levantamento de dados secundários foi possível obter informações sobre litologias atravessadas, nível estático, nível dinâmico, vazão, rebaixamento, entradas de águas, além das análises químicas. Tais dados fazem parte de um banco de dados em Access (mbd) de poços tubulares que compõem, juntamente com os mapas e relatórios, o inventário dos recursos hídricos subterrâneos da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo.

A análise de imagens de satélite e de radar deu suporte para a interpretação estrutural da área na escala 1:250.000. O traçado dos lineamentos morfo-estruturais possibilitou gerar o mapa de densidade de fraturas da bacia através do programa Rockworks 1999.

A elaboração do Mapa Hidrogeológico baseou-se nos métodos convencionais de cartografia das águas subterrâneas, conforme a Legenda Internacional para Mapas Hidrogeológicos da UNESCO.

5.3. HIDROGEOLOGIA REGIONAL

Neste tópico serão tratados os aspectos relacionados ao modo de ocorrência e condições de circulação das águas subterrâneas, visando definir a hidrogeologia regional e o modelo hidrogeológico conceitual da área em questão. Os trabalhos anteriores e afins ao tema realizados na área e nas circunvizinhanças, que de certa forma colaboram com o avanço do conhecimento hidrogeológico da Bacia, são citados e comentados ao longo do desenvolvimento do texto a seguir.

Como foi visto no capítulo referente à geologia da área, esta se insere no compartimento geológico da Bacia do Paraná, especificamente na Formação Serra Geral e Formações subjacentes. Desta forma, existem dois domínios aquíferos distintos: o Sistema Aquífero Poroso denominado de Guarani e o Sistema Aquífero Fraturado relacionado às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. O primeiro encontra-se confinado em profundidades superiores a 1000 metros, desempenhando papel de reserva estratégica na região, enquanto que o segundo é o aquífero mais acessível e largamente utilizado na Bacia Hidrográfica.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral afloram sobre cerca de 800.000 km² na Bacia do Paraná, apresentando uma grande importância hidrogeológica, principalmente no sul do Brasil, decorrente da elevada explotabilidade das suas zonas aquíferas. As águas subterrâneas são exploradas através de poços tubulares e captações de fontes, com vazões variando entre 1 e 220 m³/h (Rebouças & Fraga, 1988), sendo usadas para consumo humano, industrial, pastoril e também para balneabilidade.

As águas subterrâneas nas áreas da Formação Serra Geral estão condicionadas a fatores de ordem genética e tectônica. O primeiro fator é condicionante intrínseco da permeabilidade horizontal, enquanto o segundo condiciona as permeabilidades verticais às quais interconectam as estruturas aquíferas interderrames.

O Aquífero Serra Geral constitui, portanto, um meio aquífero heterogêneo e anisotrópico, com as condições de armazenamento e circulação da água restritas às descontinuidades das rochas, denominado de aquífero fissural ou fraturado. Suas características litológicas e estruturais o distinguem das demais rochas cristalinas como os granitóides e gnaisses. Os principais diferenciais são as zonas vesiculares e amigdaloidais de topo de derrame e zonas de disjunção horizontal, que quando interceptadas por fraturamentos, interconectam-se podendo armazenar grandes volumes de água subterrânea.

Segundo Fraga & Rebouças (1988), os mecanismos de recarga do aquífero Serra Geral se dão preferencialmente por dois condicionamentos distintos: infiltração de águas pluviais a partir de rupturas regionais cobertas por manto de alteração e solo; e infiltração de água armazenada nas coberturas sedimentares pós-basálticas (caso de regiões cobertas pela Formação Tupanceritã no Rio Grande do Sul).

Como um dos primeiros trabalhos de hidrogeologia regional realizado no Rio Grande do Sul, temos os estudos de Hausman, que culminaram no Mapa de Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande Do Sul, publicado em 1995. Segundo este autor a área estudada insere-se na Província Basáltica, mais precisamente na Sub-Província Planalto.

Conforme já mencionado, a circulação da água subterrânea neste domínio é marcada por dois aspectos: uma circulação horizontal no regolito e outra, na rocha propriamente dita. Tais circulações não apresentam nenhuma correspondência entre seus níveis piezométricos, formando circulações independentes, com alguma inter-relação no tocante à recarga. O manto de alteração das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral é geralmente constituído por material argiloso com coeficiente de permeabilidade (K) oscilando entre 10^{-6} e 10^{-7} cm/s. Na região estudada a espessura do regolito pode atingir mais de 30 metros, quando a superfície é morfológicamente pouco atingida pela erosão, como em Giruá e Santa Rosa (Hausman, 1995). A circulação ocorre próximo ao contato com a rocha pouco alterada ou sã.

Muitas vezes ocorre o afloramento da água subterrânea sob a forma de fontes, que constituem os pontos de surgência do fluxo subsuperficial. Estes representam o alimentador do fluxo básico da rede hidrográfica da região. A surgência ocorre pontualmente, sob a forma de um filete ou nas disjunções horizontais e verticais da rocha basáltica. Geralmente a descarga se dá na meia encosta próximo ao vale ou nos pontos de seccionamento da superfície estrutural pela erosão. O volume destas descargas pode oscilar entre 0,5 a mais de $20 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo que a maioria das fontes apresentam vazões entre 1 e $3 \text{ m}^3/\text{h}$ (Hausman, op cit). Quando há déficit pluviométrico ocorre a queda de vazão nas fontes. Outro uso das águas que circulam no manto de alteração é a captação por poços escavados, muito comuns em vários núcleos populacionais da região.

A circulação da água subterrânea na rocha, dentro do conjunto de derrames, apresenta certas particularidades que diferenciam tal sistema aquífero daqueles desenvolvidos sobre rochas cristalinas (granitos e gnaisses) do Escudo. O principal diferencial consiste no sistema de fraturamento que atingiu o conjunto de derrames (Hausman, 1995). Segundo este autor, quando o tectonismo provoca a disjunção de toda a coluna eruptiva, as condições de circulação são determinadas pelo maior ou menor grau de mineralização secundária das juntas e sua abertura efetiva.

As juntas de resfriamento são individualizadas, determinando circulação local, com pequeno intercâmbio com outros níveis de derrame. Tal fato se deve a dificuldade introduzida pela circulação horizontal nas juntas de resfriamento, no topo e na base dos derrames, separados por área maciça, de disjunção espaçada e em geral vertical.

A tectônica introduziu a intercomunicação entre os diferentes derrames e permitiu a recarga do sistema aquífero fraturado a partir da superfície. Hausman ainda ressalta que a circulação vertical em profundidades superiores a 300 metros somente pode ser explicada pelo fato das fraturas serem predominantemente verticais, o que de certa forma, não ficam totalmente submetidas à pressão do maciço rochoso sobreposto. No aquífero fraturado Serra Geral, muitas vezes ocorrem entradas d'água em profundidades acima de 150 metros, com grandes vazões, quando comparadas com a produtividade média regional. Nos poços de Cerro Largo e Campina das Missões ocorrem várias entradas d'água profundas, abaixo dos 393 e 250 m, respectivamente.

Estas entradas d'água estão sob pressão, subindo mais de uma centena de metros, sugerindo sua ligação com a recarga superficial. Em alguns casos apresentam artesianismo surgente.

A circulação de água no sistema de fraturas está quase sempre sob pressão. Os poços apresentam um artesianismo semi-surgente na maioria dos casos. Segundo Hausman op cit, as direções nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste são as mais importantes e responsáveis pelas melhores vazões encontradas. As direções norte-sul e leste-oeste são secundárias. A superposição de vários derrames influencia no comportamento do sistema aquífero em questão, como pode ser verificado na maioria dos perfis de poços da região. Os topos de derrame, representados por zonas amigdalares, muitas vezes alteradas e intercaladas com paleo-solos ou arenitos intertrápicos, contribuem como entradas de água nos poços. Em áreas onde há a predominância de vários pequenos derrames empilhados, a potencialidade do aquífero é bem maior do que nas áreas onde ocorrem poucos e espessos derrames. A figura 5.3.1 ilustra o modelo conceitual de circulação de água subterrânea no sistema aquífero Serra Geral (Freitas et al, 2000).

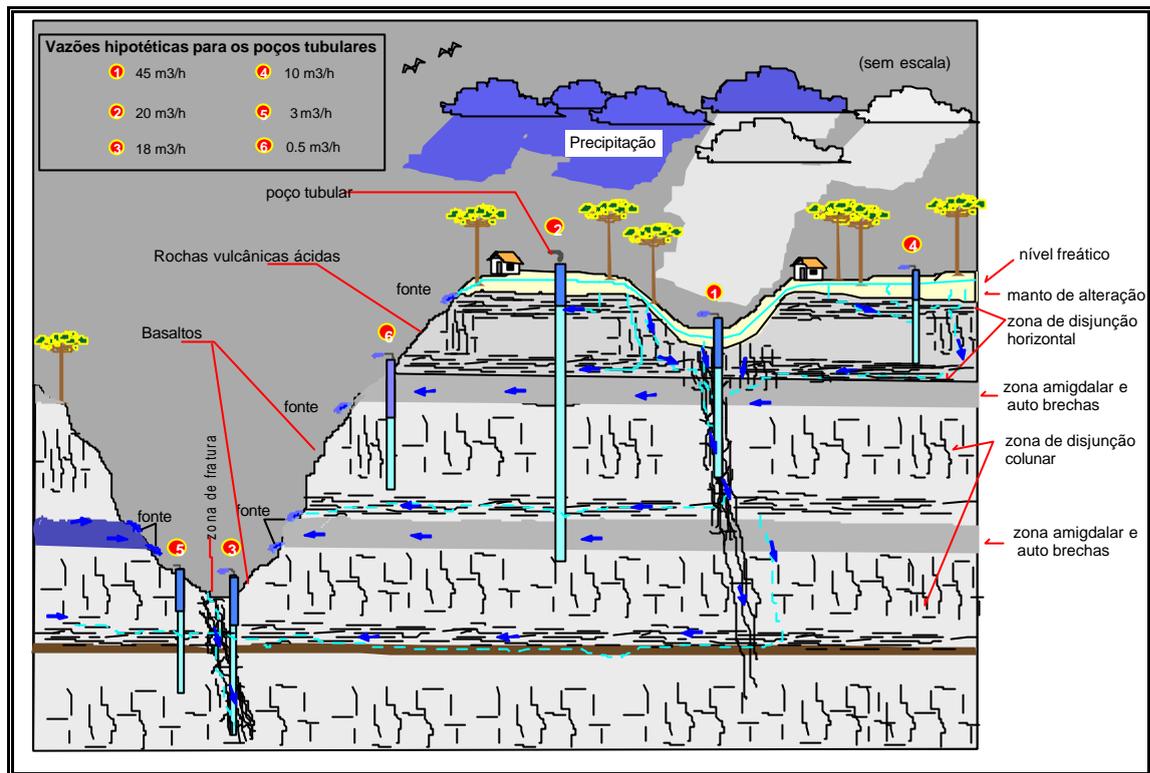


Figura 5.3.1 - Modelo conceitual de circulação de água subterrânea no Sistema aquífero Fraturado Serra Geral (adaptado de Freitas et al, 2000).

Este sistema aquífero, em sua maioria, pode ser classificado como fraturado e instável (Hausman, 1995). Uma grande parte dos poços perfurados neste apresentam fenômenos de instabilidade, com maior ou menor intensidade, dependendo da geometria que domina as superfícies de descontinuidade da área. Portanto é um sistema aquífero heterogêneo e anisotrópico, refletindo uma difícil previsão de vazão.

Os níveis variam muito em pequenas distâncias horizontais. Também existe uma forte dependência do nível estático com o número e profundidade das entradas d' água, impossibilitando realizar uma determinação da superfície piezométrica.

O sistema aquífero Serra Geral relaciona-se com o aquífero poroso subjacente, denominado Aquífero Guarani, de duas maneiras: ora fornecendo água (descarga), ora recebendo água do mesmo (recarga). Tal fato vai depender se há fraturamentos que interceptam a superfície piezométrica do aquífero Guarani, como os que são registrados no oeste do Estado de Santa Catarina, principalmente na região de Itá e Concórdia, onde a mistura de águas é comprovada pelos estudos hidroquímicos (Freitas e Machado, 2000). Na bacia aqui estudada há influência do Aquífero Guarani nas águas do Sistema Aquífero Serra Geral, como será visto no item relativo à qualidade das águas subterrâneas. Tal fato ocorre principalmente nas áreas onde as cotas topográficas são inferiores a 100 metros (porção extremo oeste da área) e também em cotas inferiores a 200 metros (setor norte-nordeste da área).

Para determinar as condições piezométricas do aquífero poroso subjacente foram utilizados os dados dos poços profundos de Santa Rosa e de São João do Oeste (figura 5.3.2), este localizado junto ao rio Uruguai em SC nas proximidades de Derrubadas. Os poços estão separados entre si por uma distância aproximada de 120 km na direção N-45°-E.

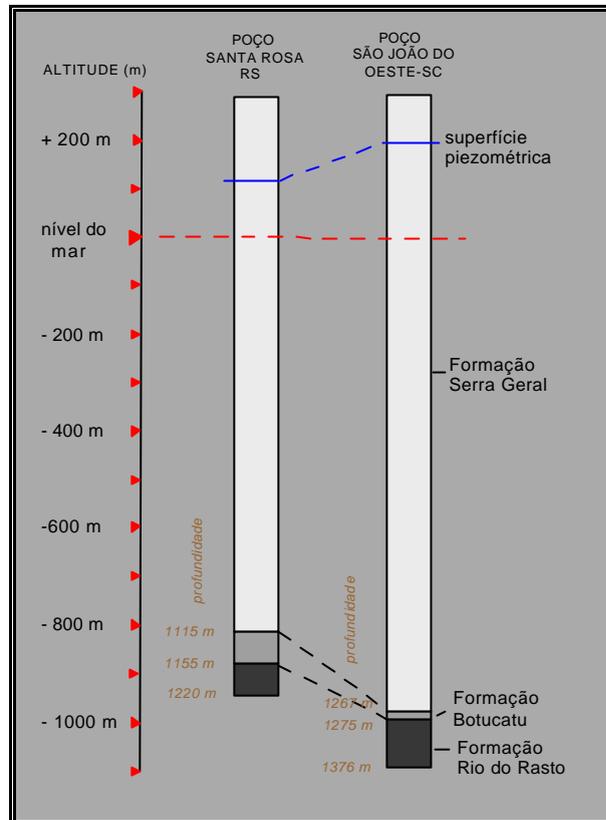


Figura 5.3.2 - Correlação entre os poços tubulares profundos que atravessam as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

Möbus (1987) adotando técnicas de análise de agrupamento e análise fatorial, estudou o comportamento hidrogeológico do aquífero fraturado na região. Sua pesquisa abrangeu uma área limitada a oeste pela cidade de Porto Lucena, a leste por Santo Augusto, a sul por Guarani das Missões e a norte por Tuparendi. Na análise estrutural e hidrogeológica foi empregada a técnica de agrupamento de dados ("cluster analysis") físico-químicos e hidrodinâmicos de poços tubulares, como ferramenta auxiliar na caracterização hidrogeológica da área estudada. Foram analisados sessenta e oito poços tubulares, basicamente da CORSAN, caracterizados por sete variáveis: número de entradas d'água, profundidade da última entrada d'água, descarga específica, pH, razão Cl/HCO_3 , sólidos totais e espessura do manto de alteração. Tal análise resultou na obtenção de cinco grupos diferentes.

Os poços do grupo I encontram-se quase que todos concentrados na porção ocidental da área, próximo ao rio Uruguai, área esta que apresenta um relevo fortemente dissecado. Duas variáveis chamaram atenção neste grupo pelas variáveis apresentadas: profundidade da última entrada d' água e a relação Cl/HCO_3 . A pequena profundidade média da última entrada d' água é justificada pela própria condição do relevo. Já o baixo valor médio da razão iônica Cl/HCO_3 denota que o aporte de bicarbonato às águas dos poços é alta, o que pode ser um indicativo de que a recarga ocorreu em outras áreas. Neste grupo também se encontram os menores valores médios de espessura do elúvio (< 10 m) o que reforça o baixo potencial de recarga no local.

O grupo II, situado na faixa de transição entre a área mais dissecada a oeste e o platô elevado a leste, teve o destaque de duas variáveis que apresentaram altos valores médios: profundidade da última entrada d' água e o pH. Isto induz a crer na possibilidade de haver influência da profundidade das entradas d' água sobre o pH.

O grupo III, localizado próximo ao setor central da área de estudo, apresenta o maior valor médio da descarga específica e da relação Cl/HCO_3 , indicando que tal área demonstra ser a zona preferencial de recarga.

Já o grupo IV apresenta termos médios das variáveis com valores intermediários, quando comparados com os outros grupos. Destacam-se valores individuais, pois neste encontra-se o poço com menor valor de descarga específica e menor pH, assim como o poço com menor teor de sólidos totais analisados e a maior razão Cl/HCO_3 .

O grupo V localiza-se na porção oriental da área, que apresenta predominantemente um relevo de platô dissecado transicional. Os poços desse grupo mostram valores de espessura de elúvio com média muito maior que a dos outros grupos. Já os valores médios de pH e sólidos totais apresentaram neste grupo, os menores valores médios.

Lisboa (1996) apresenta os resultados do tratamento de dados geoquímicos de águas subterrâneas pertencentes ao Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul. São descritas três unidades hidrogeológicas: Abóbada Oeste Aplainada, localizada entre os rios Ibicuí e Quaraí, Abóbada Central Densamente Dissecada, na bacia do Alto Uruguai; Fachada Atlântica Dissecada, nas bacias do Rio Caí e Antas. Verificou-se a presença de águas de intemperismo das rochas vulcânicas nos três compartimentos, as quais são geralmente bicarbonatadas cálcicas. Na Abóbada Oeste também foi caracterizada a existência de uma fácies de intemperismo bicarbonatada magnésiana, relacionada ao longo tempo de residência. Nos três compartimentos, foi observada a ocorrência de águas bicarbonatadas sódicas, cuja origem é explicada pela mistura de águas de intemperismo das rochas vulcânicas com águas ascendentes do Sistema Aquífero Botucatu (Aquífero Guarani). Mais precisamente na área da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, o autor cita que o relevo é densamente dissecado, com manto de alteração descontínuo e pouco espesso, os vales são entalhados e profundos determinando uma condição de baixa altitude. Este fato associado

à presença em subsuperfície do Arco de Lagoa Vermelha favorecem a elevação do nível potenciométrico do Sistema Aquífero Botucatu, o que gera um fluxo profundo ascendente do arenito para o basalto, causando um armazenamento nas fraturas do basalto de águas originadas no aquífero poroso subjacente.

5.4. HIDROGEOLOGIA LOCAL

A análise da hidrogeologia local está vinculada ao limite físico da Bacia Hidrográfica do Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, com uma superfície de 10.756 km². O objetivo é o de conhecer os diferentes sistemas aquíferos presentes na área e verificar se existe um zoneamento em termos de produtividade, potencialidade e qualidade das águas. Para tanto foi realizado, nesta área, uma análise da geologia, das estruturas tectônicas, da geomorfologia, do clima e um levantamento dos poços tubulares.

A revisão bibliográfica de trabalhos anteriores principalmente de cunho regional, discutidos no item anterior, em conjunto com as expeditas visitas de campo serviu para a identificação e análise da hidrogeologia local. Convém ressaltar que este inventário das águas subterrâneas, realizado em nível de detalhe condizente com a escala 1:250.000, ainda que considerado regional e preliminar, é da mesma forma importante na medida em que se constitui num subsídio técnico indispensável para a gestão racional dos recursos hídricos subterrâneos desta importante região.

Como foi visto no capítulo 5.3, a área está dividida em três agrupamentos estruturais-geológicos: grupo 01, grupo 02 e grupo 03.

O grupo 01 que perfaz a região norte-oeste extremo da bacia (Três Passos, Porto Lucena, Humaitá, Derrubadas e Crissiumal) com drenagem encaixada em estruturas tectônicas de orientação predominante NE e NW, com vales em forma de "U" e escarpas profundas e retilíneas, ocupando cotas preferencialmente entre 100 e 200 m.

O grupo 02, na região centro-sudeste, envolvendo os municípios de Santo Augusto, Santo Ângelo, Redentora e Giruá, entre outros, constituem um bloco morfológico-estrutural distinto do restante da área. Os lineamentos morfo-estruturais ganham uma forma mais retilínea, tanto na direção NE como NW, dando a paisagem um relevo mais uniforme e homogêneo com alto grau de peneplanização. As cotas topográficas predominantes encontram-se entre 350 e 600 metros, aflorando seqüências de rochas vulcânicas mais diferenciadas (andesitos e dacitos). Também são observados níveis vesiculares intensos entre os vários derrames, o que juntamente com a tectônica vai comandar o comportamento hidrogeológico neste domínio.

O terceiro grupo, localizado na porção ocidental da bacia, tendo como representantes principais as cidades de Horizontina, Tucunduva, Santo Cristo e Alecrim, apresenta uma ligeira semelhança com o bloco mais ao norte. O principal diferencial é que os lineamentos formam extensas linhas de morros elevados e retilíneos tipo platô. Estão situados em um nível altimétrico entre 250 e 300 metros. Nos derrames desta unidade é bastante freqüente disjunções verticais sem preenchimento.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, quando analisadas pelo ponto de vista de composição e textura, são rochas impermeáveis e nenhuma circulação de água subterrânea é esperada quando nos deparamos com um bloco maciço destas rochas. Já as autobrechas e arenitos interderrames podem se comportar como uma rocha porosa, dependendo fundamentalmente de seu grau de alteração.

Assim sendo, o que irá determinar definitivamente o comportamento hidrogeológico destas rochas é a estrutura geológica e geomorfológica da área. Portanto se partirmos do fato que a circulação só se dá através das juntas e fraturas, o principal critério de prospecção será o arcabouço estrutural.

A figura 5.4.1 representa as principais morfo-estruturas, constituídas por 1.280 traços de fraturas extraídos através de análise visual de imagens de sensoriamento remoto (Radar e LANDSAT-7) na escala 1:250.000, adotando o princípio da não inferência (Schuck et al., 1986).

O processamento estatístico destes vetores, ilustrado pelo diagrama de roseta da figura 5.4.2, revelou as seguintes direções principais de lineamentos:

010 a 020°; 020 a 030°;

310 a 330°; 330 a 340°;

300 a 310°; 310 a 320°;

060 a 070° e 050 a 070°.

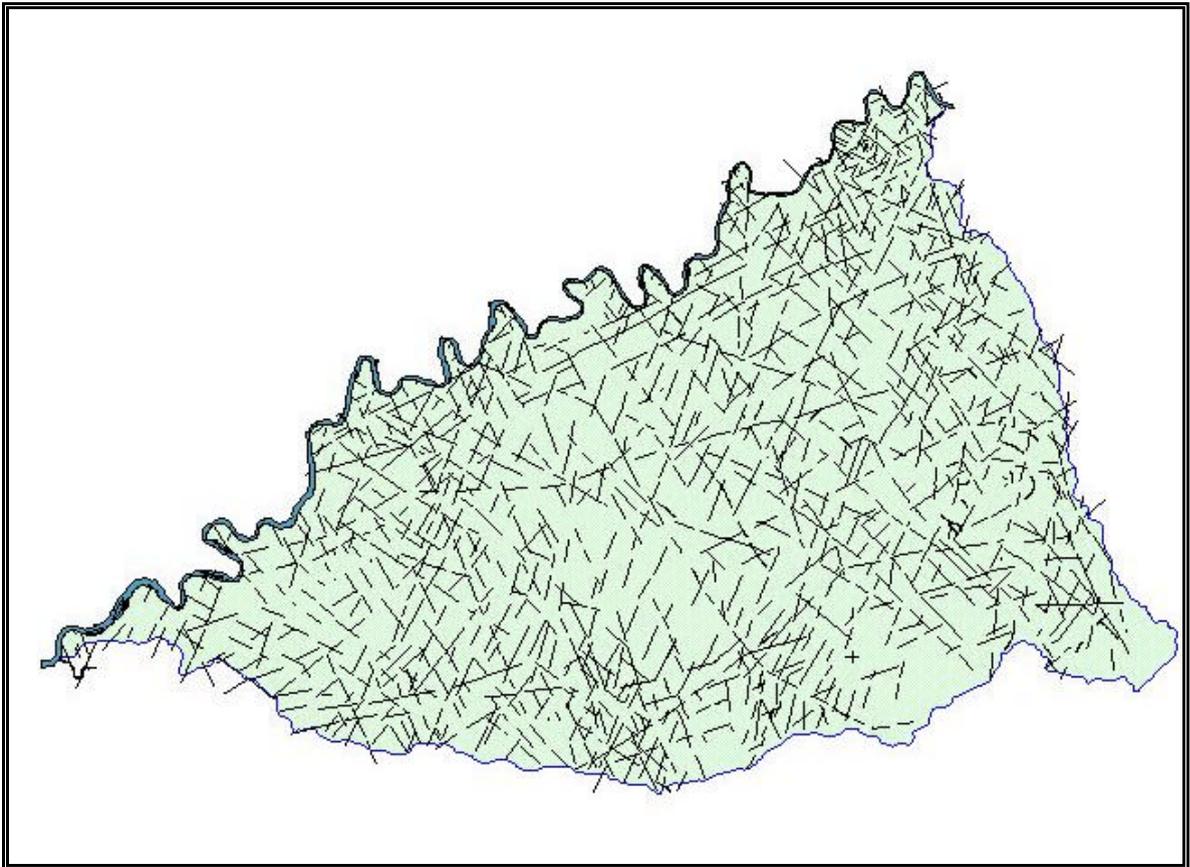


Figura 5.4.1 - Mapa de lineamentos morfo-estruturais da Bacia U 30.

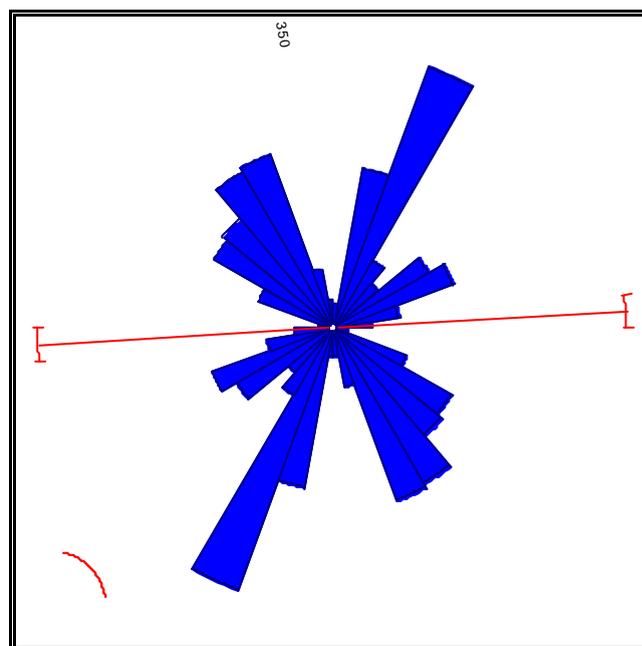


Figura 5.4.2 - Diagrama de roseta dos lineamentos morfo-estruturais da Bacia U 30.

O mapa de densidade de fraturas, determinado a partir das morfo-estruturas, representa a razão entre o comprimento acumulado dos lineamentos e a área das células. Tem a função de fornecer uma idéia da magnitude da deformação rúptil sofrida pelas rochas, sugerindo que quanto maior a densidade de fraturamento maior a possibilidade de acumulação e recarga de água subterrânea, além de refletir uma maior vulnerabilidade intrínseca do sistema aquífero.

A grade, gerada a partir de células com dimensão de 2,5 x 2,5 km e 1.280 lineamentos, é exibida pela figura 5.4.3. Observa-se que as zonas de maior densidade de fraturamento estão localizadas nos setores oeste (Porto Xavier), centro-sul (Giruá, Sete de Setembro, Ubiretama); noroeste (Santo Cristo, Alecrim), extremo leste (sul de Coronel Bicaco), centro-leste (Alegria, Inhacorá), norte (Tiradentes do Sul, Humaitá e Doutor Maurício Cardoso) e nordeste (Derrubadas e Tenente Portela).

Conforme estabelecido no capítulo 1.3., a área divide-se em três compartimentos geomorfológicos, que irão refletir em uma diferenciação do comportamento hidrogeológico destas zonas.

As porções leste, sudeste e sul da bacia U 30 ocupam áreas que variam entre 350 e 600 m de altitude, com conformação de coxilhas de declividade muito baixa a nula, formando áreas extensas de relevo suave e plano. Houve um intenso processo de peneplanização dando origem a solos espessos (mais de 30 metros) avermelhados e do tipo latosolo. Tais características associadas ao fator tectônico (estruturas e densidade de fraturas) favorecem a recarga do aquífero nestas áreas.

O segundo domínio geomorfológico situa-se numa faixa central da bacia, ocupando uma região de centro que vai da porção sul até a porção norte, próximo ao traçado do rio do Turvo. As cotas topográficas oscilam entre 150 e 300 metros, o relevo é suave a moderado. Nas cotas topográficas próximas ao limite de 150 metros verificam-se coxilhas com maior declividade, e morros de pequeno porte concentrados junto às principais drenagens da região, aumentando o grau de dissecação do terreno.

O último bloco geomorfológico ocorre na porção mais ocidental da bacia, ocupando as cotas menos elevadas, que variam entre 100 e 150 metros. O relevo é moderado a acentuado com declividades de até 80 °, originando paisagens de morros de cotas elevadas e altas declividades intercaladas com vales em "U". Os solos são mais rasos, do tipo litólico, e surgem nas encostas e fundos de vale consideráveis áreas de depósitos alúvio-coluvionares.

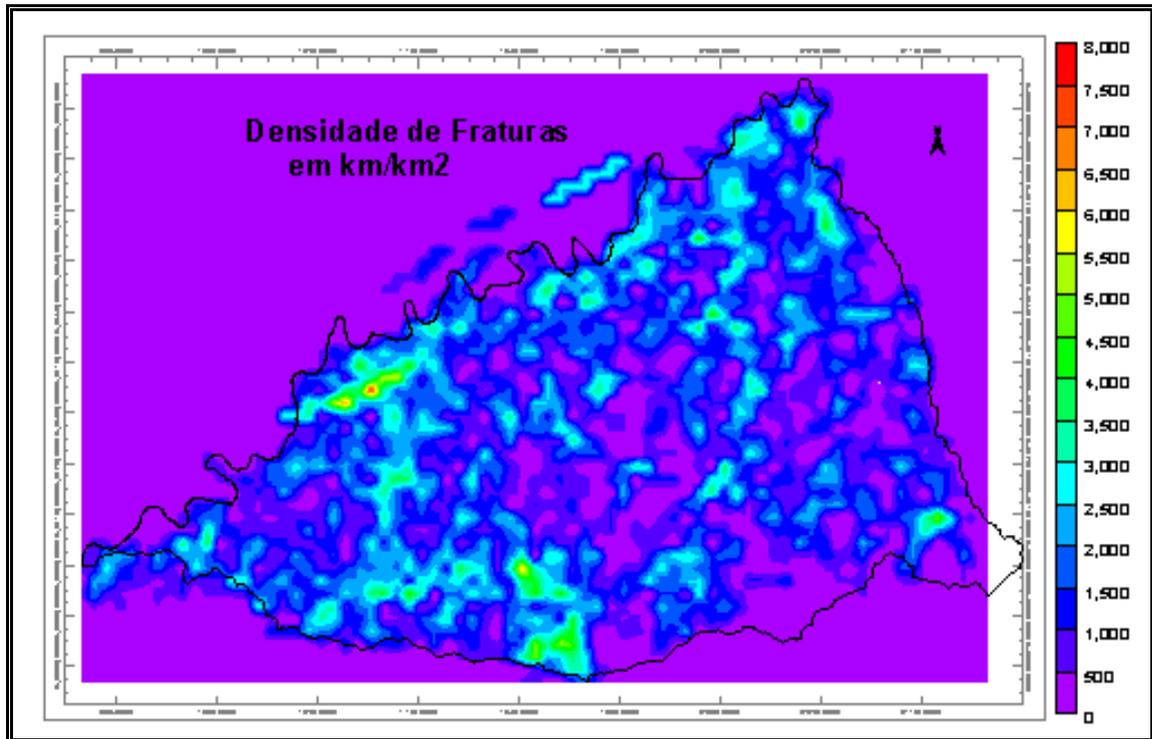
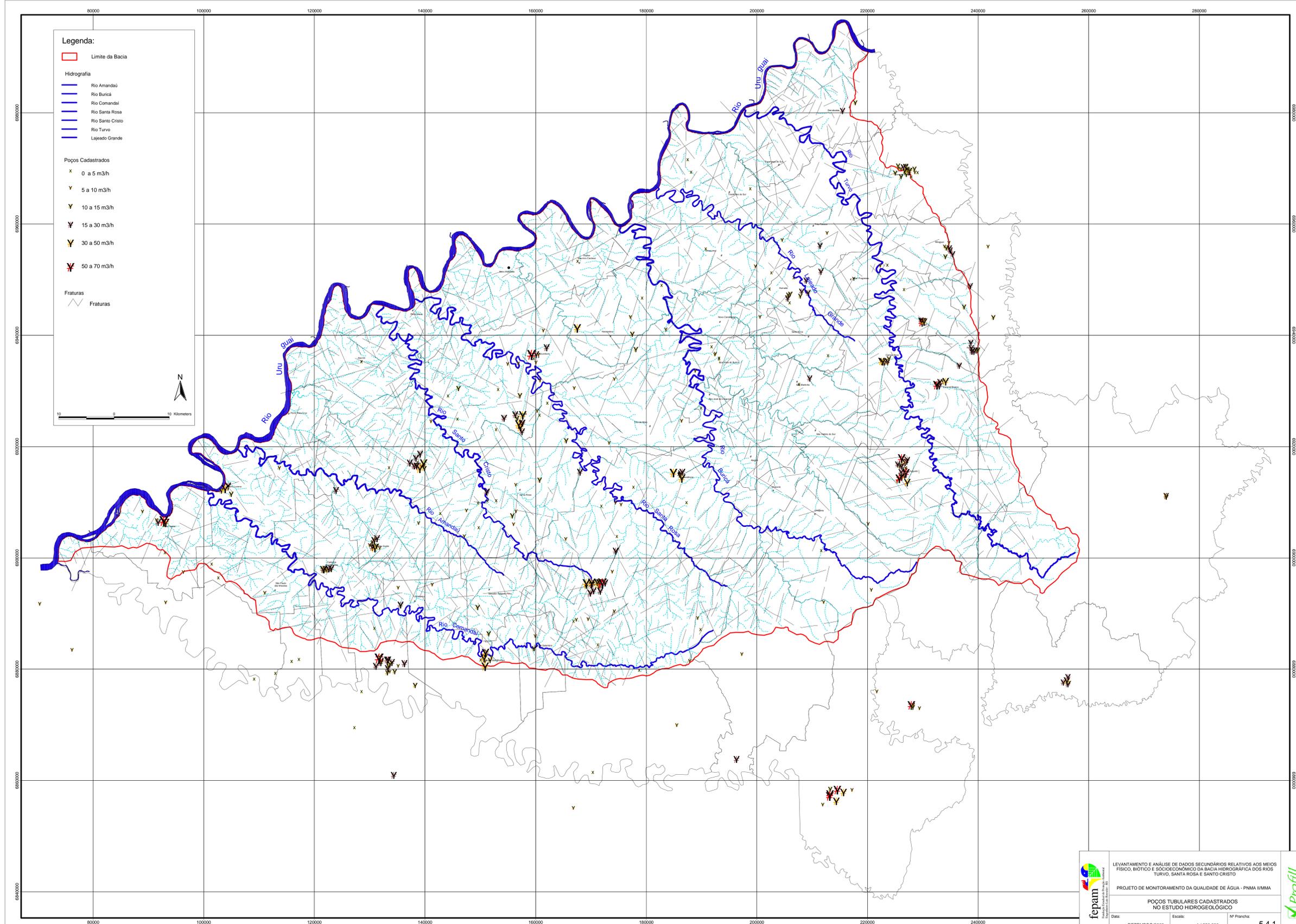


Figura 5.4.3 - Mapa de densidade de fraturas da Bacia U 30.

5.4.1. Levantamento dos Poços Tubulares Existentes

Com o objetivo de definir os diferentes sistemas aquíferos presentes na área, foi realizado um levantamento dos poços tubulares disponíveis, junto às empresas que atuam na perfuração e construção de poços tubulares. As fontes consultadas foram a CORSAN, SOPS-PAP, CPRM e Formobra de Santa Rosa, que gentilmente cederam seus dados colaborando muito com este estudo. Foram priorizados os relatórios de poços que continham dados que indicassem sua posição geográfica como coordenadas geográficas determinadas por GPS ou croquis que possibilitassem seu georreferenciamento. Com este levantamento foi possível obter informações sobre litologias atravessadas, nível estático, nível dinâmico, vazão, rebaixamento, entradas de águas, além das análises químicas.

Os dados assim obtidos foram transpostos para um Banco de dados em Access denominado de Inventário de Poços Tubulares na Bacia Hidrográfica U 30. Os poços inventariados em escritório não se limitaram somente a bacia em questão (figura 5.4.4 e prancha 5.4.1), abrangendo também áreas próximas ao seu limite. Dados referentes à situação e utilização dos poços não foram obtidos, porque seria necessário executar um programa de visita a campo em todos eles, o que foge do escopo deste trabalho. No entanto fica a sugestão para estudos posteriores de detalhamento, onde poderá ser contemplada esta questão, como também obter através de aparelho de GPS as coordenadas precisas dos pontos.



Foram inventariados 355 poços tubulares com a seguinte distribuição conforme os construtores:

- CORSAN 196
- FORMOBRA 74
- SOPS-PAP 58
- AMM (Assoc. de Municípios) 13
- Cia T. Janer 07
- CPRM 05
- DCM (Secr. Agricultura) 02

Os principais parâmetros construtivos serão discutidos a seguir com o objetivo de fornecer subsídios a ocorrência e produtividade do sistema aquífero Serra Geral na bacia estudada. O quadro 5.4.1 ilustra a estatística desses parâmetros.

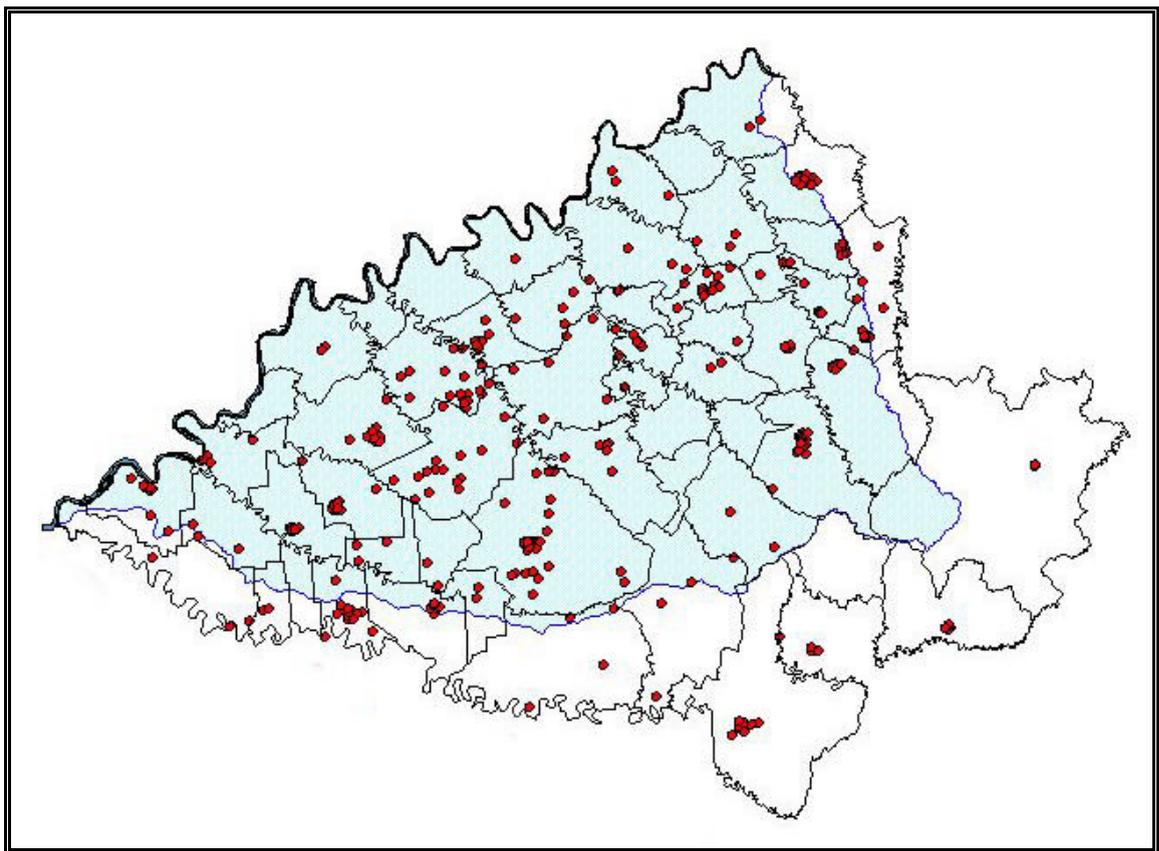


Figura 5.4.4 - Mapa de distribuição espacial dos 355 poços tubulares inventariados para o estudo hidrogeológico da Bacia U 30.

Quadro 5.4.1 - Estatística de alguns parâmetros construtivos do poços tubulares.

	Profundidade (m)	Quantidade de revestimento (m)	Prof. da última entrada d' água (m)	Vazão (m³/h)	Vazão específica -Q/s (m³/h/m)
Amostragem	353	193	154	347	297
Mínimo	21.5	2.5	1	0	0.0041
Máximo	470	80.7	265	78.26	6.6
Média	131.46	15.36	76.85	15.3113	1.14
Mediana	126	12	66	10.7	0.64
Quartil inferior	94.75	7.36	21	5.4	0.171
Quartil superior	158.67	20	118	20	2.68
Variância	2852.39	146.47	3862.83	196.701	114.3684
desvio padrão	53.4077	12.102	62.1517	14.025	10.69
Coef. de variação	0.40625	0.78755	0.80869	0.91599	3.13692

A profundidade dos poços inventariados varia de 21,5 a 470 m (Poço G.386 CL3 em Cerro Largo), com média de 131,5 m e mediana 126 m, predominando as profundidades entre 100 e 150 m (figura 5.4.5). A quantidade média de revestimento colocada nos poços, que normalmente reflete a espessura do manto de alteração, gira em torno de 15 metros. A estatística da profundidade da última entrada d' água (PUEA), com média de 76,86 m e mediana de 66 m, mostra que apesar de existirem contribuições superiores a 150 m, a predominância é de entradas d'água menores de 120 m.

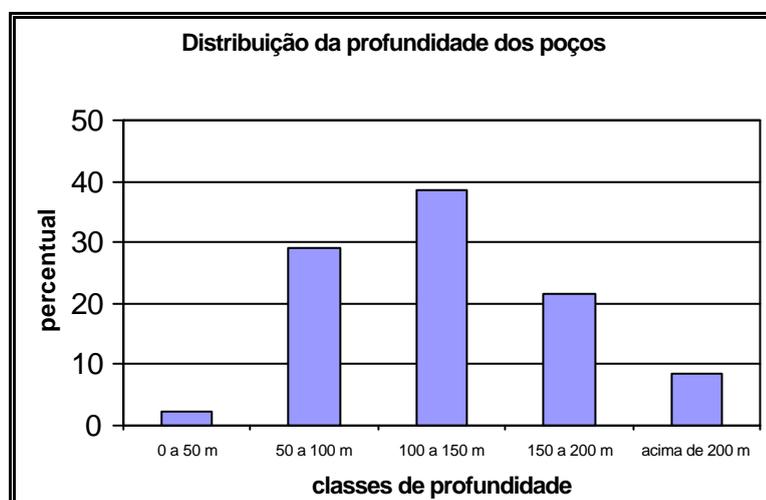


Figura 5.4.5 - Histograma da profundidade dos poços tubulares inventariados na Bacia U 30.

As vazões dos poços variam de nulos até 78,26 m³/h (poço G.1083-AJ.1 em Ajuricaba), apresentando média de 15,31 m³/h e mediana de 10,7 m³/h. Estes valores quando comparados com outras regiões do Planalto Gaúcho, comprovam a boa potencialidade hidrogeológica desta área. As vazões específicas médias dos poços igualmente são altas quando consideradas para aquíferos de meio fraturado (média de 1,14 e mediana 0,64 m³/h/m).

As vazões mais comuns são as que variam de 5 a 10 m³/h , seguidas dos intervalos de 1 a 5 e de 10 a 15 m³/h (figura 5.4.6). Considerando a mediana das vazões específicas observa-se, na figura 5.4.7, que os poços mais produtivos estão na faixa de 50 a 100 m, ocorrendo uma queda na produtividade com o acréscimo da profundidade, principalmente após os 150m.

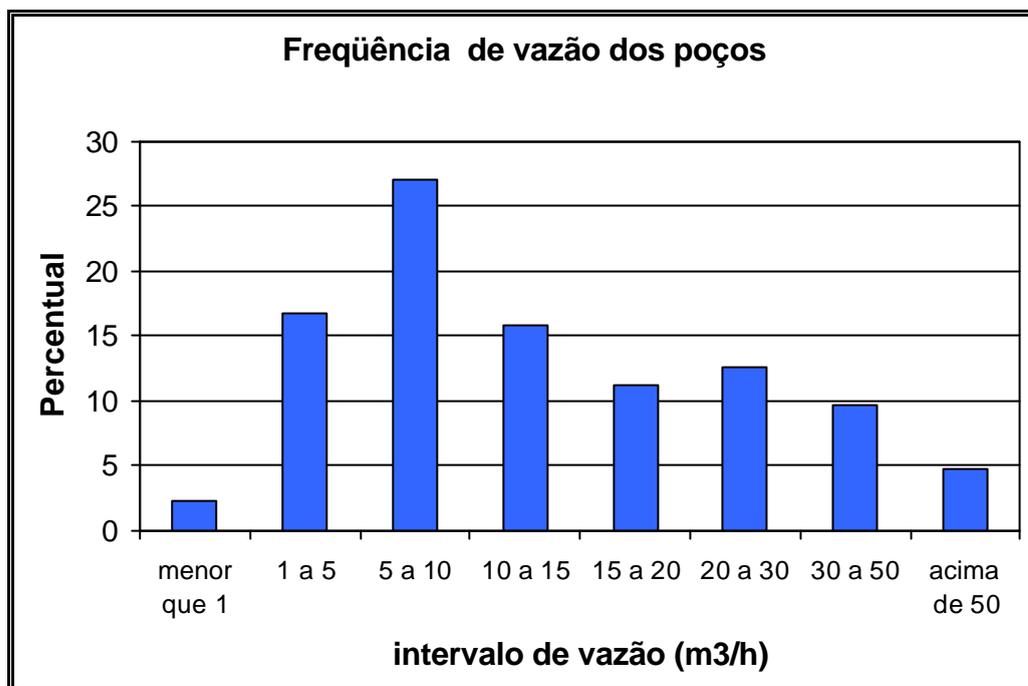


Figura 5.4.6 - Histograma de vazão dos poços tubulares inventariados na Bacia U 30.

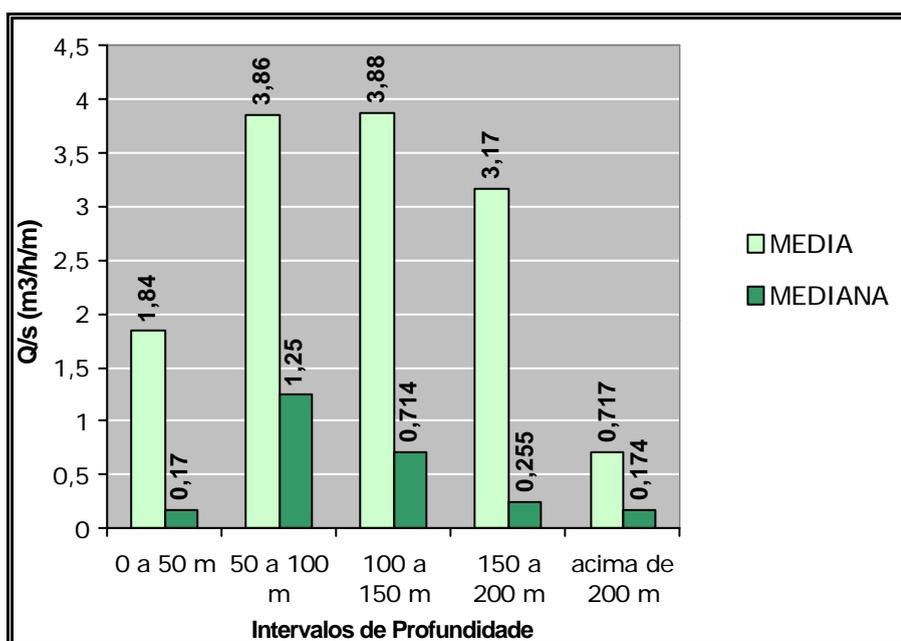


Figura 5.4.7 - Variação produtividade dos poços tubulares com a profundidade.

5.4.2. Mapa Hidrogeológico

As informações geológicas, geomorfológicas, estruturais, coletadas através da pesquisa bibliográfica e trabalhos sistemáticos, aliadas aos dados existentes dos poços tubulares, permitiram elaborar um mapa da síntese hidrogeológica e de organização da investigação da Bacia U 30. Esta proposição de mapa (prancha 5.4.2), na escala 1:250.000, contém a distribuição espacial das diversas unidades hidrogeológicas, com uma sinopse da sua potencialidade, além de uma análise sobre a vulnerabilidade natural dos mesmos.

Dentro do Sistema Aquífero Serra Geral, foram evidenciadas quatro zonas com características geológicas, estruturais e geomorfológicas bem definidas e distintas entre si que possibilitaram a divisão da Bacia em termos de potencial hidrogeológico. As zonas aquíferas são:

- Zona 1-Muito Boa;
- Zona 2-Boa;
- Zona 3-Regular;
- Zona 4-Pobre.

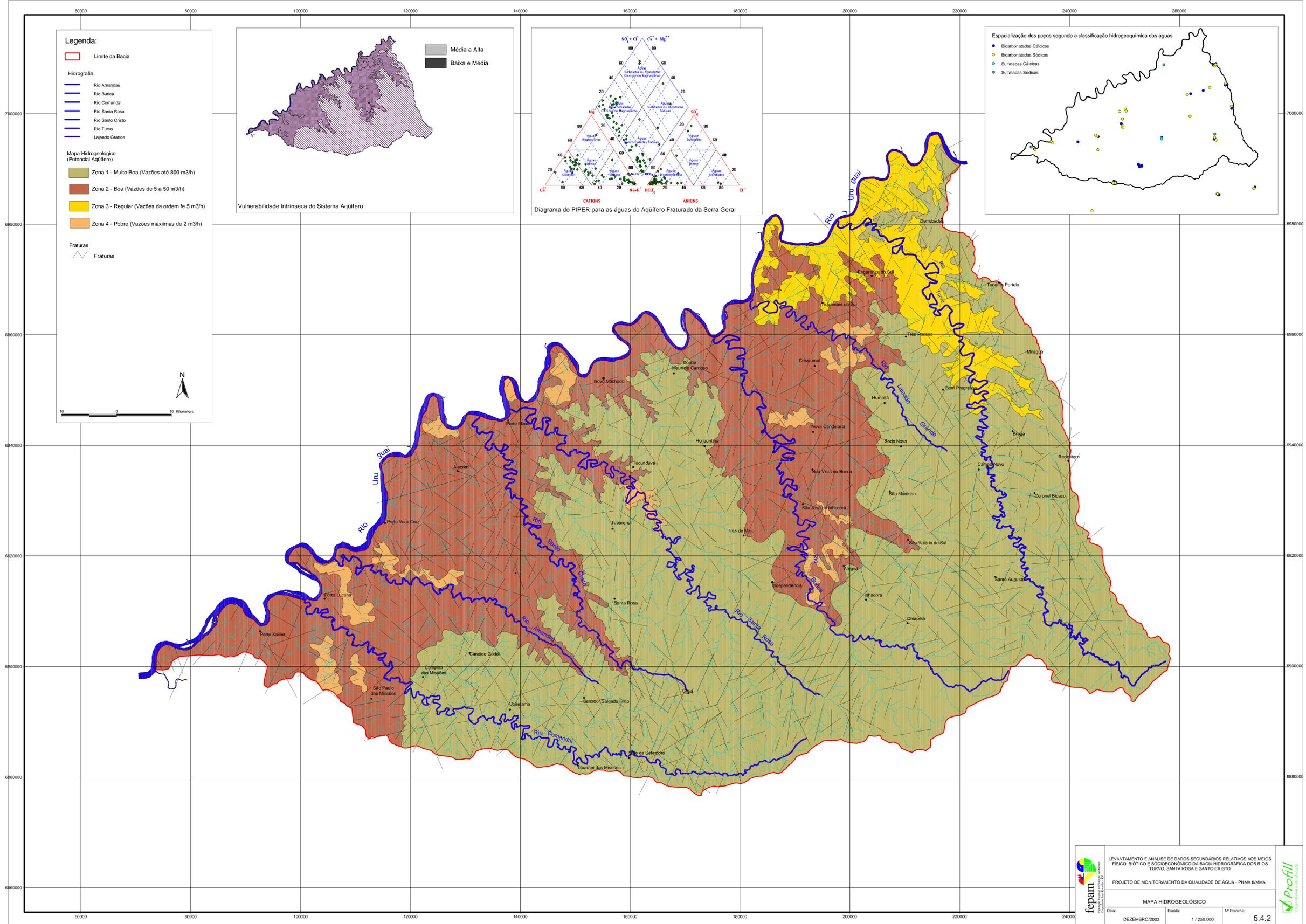
a) Zona 1-Muito Boa

A zona 1 abrange a maior parte da superfície da bacia, correspondendo aos setores centro-sul, nordeste e noroeste da mesma. Caracteriza-se por ocupar a região mais elevada da área de estudo (cotas que vão de 250 a 600 m), com relevo coxilhado, suave e plano de declividade muito baixa a nula, exibindo bom desenvolvimento de solos. Possui também baixa densidade de drenagem, indicando, juntamente com os critérios topográficos, um pequeno escoamento superficial. Tais características associadas às fraturas tectônicas permitem a recarga do aquífero Serra Geral nestas áreas.

É a zona potencialmente melhor em termos de água subterrânea e onde é possível se obter as melhores vazões (até 80 m³/h), desde que os poços sejam locados segundo o critério estrutural, sendo as grandes fraturas de direção NW e NE as preferenciais.

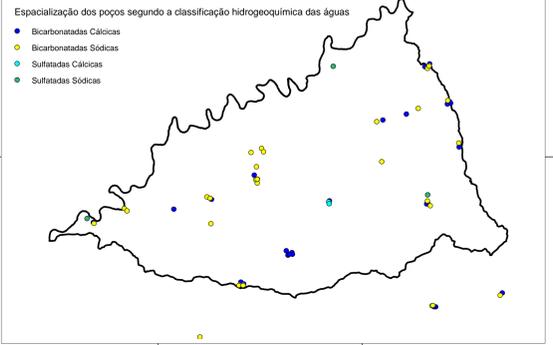
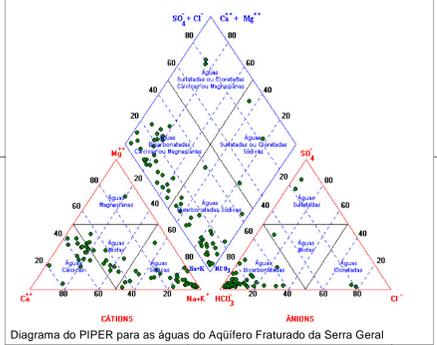
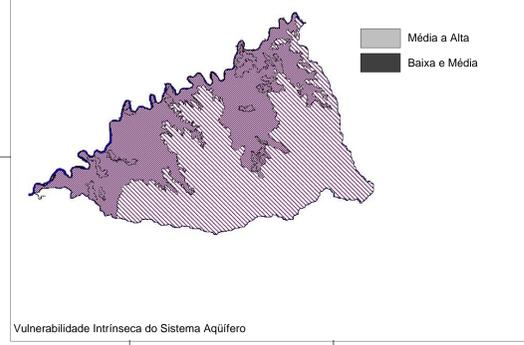
b) Zona 2-Boa

Esta zona praticamente circunda a zona anterior ocorrendo nas porções oeste, noroeste e centro-nordeste da área. As cotas topográficas oscilam entre 100 e 300 metros, aproximadamente, e o relevo é suave a moderado. Em termos de comportamento hidrogeológico trata-se de uma área transicional entre a recarga e descarga do aquífero fraturado. São previstas vazões médias entre 5 e 50 m³/h e os poços devem interceptar fraturas de preferência de direção NW.



Legenda:

- Limite da Bacia
- Hidrografia**
 - Rio Amandau
 - Rio Burica
 - Rio Comandante
 - Rio Santa Rosa
 - Rio Santo Cristo
 - Rio Turvo
 - Lajeado Grande
- Mapa Hidrogeológico (Potencial Aquífero)**
 - Zona 1 - Muito Boa (Vazões até 800 m³/h)
 - Zona 2 - Boa (Vazões de 5 a 50 m³/h)
 - Zona 3 - Regular (Vazões da ordem de 5 m³/h)
 - Zona 4 - Pobre (Vazões máximas de 2 m³/h)
- Fraturas**
 - Fraturas



Junto ao rio Uruguai, mais precisamente no extremo oeste, no nordeste, e no centro norte da área (vale do rio Buricá), são esperadas zonas de descarga do aquífero poroso subjacente (Aquífero Guarani). Tal fato é possível devido a potenciometria favorável do aquífero poroso, associada às estruturas tectônicas profundas e abertas de direção 065° . Alguns poços situados nestas áreas apresentam evidências hidroquímicas de mistura de águas do Aquífero Guarani com águas do Aquífero Serra Geral, como é o caso de Tiradentes do Sul (poço n° 243-4534/SHC) e Porto Xavier (poço n° 272-AMM PREF/375).

c) Zona 3-Regular

A zona 3 ocorre basicamente no setor nordeste da área ocupando áreas declivosas de relevo acentuado, com cotas que atingem valores próximos dos 400 metros. Caracteriza-se também por apresentar solos pouco desenvolvidos, alta densidade de drenagem, o que reflete em um alto escoamento superficial.

Por todos estes fatores apresentados acima, deve ser considerada como uma zona potencialmente ruim para água subterrânea. Os poços ali perfurados têm alta chance de se apresentarem nulos ou com pequenas vazões. São esperadas vazões da ordem de $5 \text{ m}^3/\text{h}$, no entanto, excepcionalmente podem ocorrer maiores vazões associadas a grandes lineamentos morfo-estruturais.

d) Zona 4-Pobre

Esta zona caracteriza-se por pequenas áreas dispersas ao longo da bacia, que apresentam um relevo bastante acentuado, com alta declividade. Nestas áreas onde a formação de solos é muito pequena, as taxas de deflúvio são altas e a infiltração é menor que nas áreas circunvizinhas, a circulação superficial predomina sobre a subterrânea.

Trata-se de uma área potencialmente ruim para ocorrência de água subterrânea, com expectativa de vazões de no máximo $2 \text{ m}^3/\text{h}$, não sendo recomendável a perfuração de poços tubulares. Deve-se optar por outra forma de captação como a proteção e aproveitamento de fontes.

5.4.3. Vulnerabilidade do aquífero à contaminação

A vulnerabilidade intrínseca relativa do aquífero fraturado na bacia U30 apresenta-se menor (baixa a moderada) na zona aquífera 1, devido a sua maior espessura de solos e manto de alteração. Nas demais zonas o aquífero fraturado possui uma vulnerabilidade relativa moderada a alta.

5.4.4. Quantificação do potencial aquífero

O estudo de uma bacia hidrográfica, considerada como a unidade de planejamento dos recursos hídricos, requer uma compatibilização de conceitos entre os recursos hídricos de superfície e subterrâneos, objetivando uma avaliação global da potencialidade e disponibilidade de água. Entre os hidrólogos, não interessa a avaliação de reservas, mesmo nos rios perenes, mas apenas a potencialidade e a disponibilidade de uso desses recursos; não se avaliam volumes de água em escoamento mas a parte dela que se pode considerar como recurso hídrico explorável. Ao contrário, entre os hidrogeólogos, em geral, interessa avaliar as reservas permanentes, as reservas renováveis ou reguladoras e os recursos exploráveis, ou seja, os volumes passíveis de exploração, sem prejuízo ao aquífero.

Nesse trabalho, utiliza-se metodologia proposta por Costa (1998), que foi adotada no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. Tal método permite avaliar as reservas (permanente e renovável), potencialidade e disponibilidades.

Porém, é conveniente ressaltar que a avaliação destes parâmetros em aquíferos heterogêneos e anisotrópicos, como é o caso do aquífero fraturado Serra Geral, apresenta incertezas, tornando-se necessário fazer algumas aproximações. Desta forma, os resultados obtidos são somente indicativos e devem ser tomados com devida cautela.

A *Reserva Permanente* é o volume hídrico acumulado no meio aquífero, em função da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica. Geralmente não é avaliada em aquíferos fissurais, tendo em vista a grande variação de profundidade da zona fraturada, da heterogeneidade na distribuição das fraturas e do nível de conhecimentos existente na atualidade.

A *Reserva Renovável* é definida pelo volume acumulado no meio aquífero, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios. Para aquíferos fraturados calcula-se a mesma admitindo-se uma taxa de infiltração mínima de 0,15% da precipitação, obtendo-se a reserva renovável através do produto dessa lâmina d'água infiltrada pela área da bacia hidrográfica.

Para a Bacia U 30 o balanço hídrico indicou uma precipitação anual total P de 1850mm, com escoamento superficial Q de 773 mm, uma evaporação potencial EP de 1450 mm, uma evaporação real E de 1015 mm e uma infiltração estimada I de 62 mm. Assim, como se tem o valor da estimativa da infiltração, o cálculo da Reserva Renovável do Aquífero Fraturado Serra Geral na bacia em questão fica da seguinte forma:

$$R_R = I \times A = 0,062 \times 10.900.040.000,0 = 675.802.480,0 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A *Potencialidade* é definida pelo volume hídrico que pode ser utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem exploradas, com descarga constante, durante um determinado período de tempo. Na ausência de dados confiáveis sobre as reservas permanentes em aquíferos fraturados, a potencialidade será considerada como a reserva reguladora acrescida de 15%; esse percentual equivale aos 0,2% ao ano da reserva permanente, considerando que $R_p \geq 10.R_r$.

$$P_{ot} = R_R \times 1,15 = 777.172.852,0 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A *Disponibilidade Virtual* é a parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondendo à vazão anual que pode ser extraída do aquífero ou do sistema aquífero, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem. Os efeitos indesejáveis podem ser classificados em:

1) *De ordem econômica:*

- Exaustão do aquífero (dano ao reservatório para qualquer uso);
- Rebaixamento que inviabiliza o uso econômico da água;

2) *De caráter hidrogeológico:*

- Inviabiliza o uso das captações existentes por limite das câmaras de bombeamento;
- Provoca o acesso ao aquífero de água de qualidade inaceitável;
- Provoca recalque do terreno, que prejudica estradas, prédios, tubulações, etc;

3) *Conflito de uso (social ou legal):*

- Prejudica usuários de poços, as descargas de base dos rios, de fontes e de lagoas;
- Prejudica o equilíbrio do meio ambiente que depende das descargas de rios e de fontes, ou de lagoas, ou ao uso econômico da natureza.

Para aquíferos fraturados a disponibilidade virtual, desde que não existam estudos específicos de ordem econômica, hidrogeológica ou de conflitos de uso, que venham limitar a utilização das águas subterrâneas armazenadas, será considerada igual a própria potencialidade, ou seja:

$$D_v \text{ é } P_{ot} = R_R \times 1,15 = 777.172.852,0 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A *Disponibilidade Efetiva Instalada* corresponde ao volume anual passível de exploração através das obras de captação existentes, com base na vazão máxima de exploração - ou vazão ótima - e num regime de bombeamento de 24 horas diárias, em todos os dias do ano.

- na prática, admite-se, por inexistência de avaliação da vazão ótima de exploração, os valores de vazão obtidos no teste efetuado após a conclusão do poço e que constam das fichas de poços cadastrados;
- para todos os tipos de aquífero, nos poços ou demais obras de captação em que foram realizados testes de vazão, considera-se a disponibilidade efetiva instalada do aquífero ou sistema aquífero, o número total de captações multiplicadas pelas respectivas vazões horárias e pelo número de horas durante o ano (8.760) ; para facilidade de cálculos, considera-se a vazão média horária dos poços;

Para a bacia U 30 somente seria possível fazer uma estimativa mais próxima da realidade se houvesse um inventário completo dos poços tubulares existentes na região, o que foge do escopo deste trabalho. No entanto, é possível fazer um exercício, a título de ilustração, com os dados dos 355 poços inventariados.

Considerando a vazão média dos poços de 15,31 m³/h se houvesse somente estes poços teríamos uma disponibilidade efetiva instalada de :

$$D_{ai} = n \times Q_m \times 8.760 = 355 \times 15,31 \times 8.760 = 47.611.038,0 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A título de exercício, considerando que na Bacia existam cerca de 1.500 poços tubulares em funcionamento, a Disponibilidade Efetiva Instalada passaria a 201.173.400,0 m³/ano. Comparando este dado com a Disponibilidade Virtual, que é da ordem de 777.172.852,0 m³/ano, existiria uma folga de 74,12 %, para que se atingisse uma situação de conflito. No entanto para melhor precisar este cálculo seria necessário determinar o volume anual atualmente explorado nas obras existentes, que só é possível de ser avaliado se houver levantamentos sobre a situação de uso, a vazão horária, horas bombeadas por dia e número de dias por semana, o que corresponde à *Disponibilidade Efetiva Atual*.

A vulnerabilidade intrínseca do aquífero na Bacia U 30 apresenta-se menor (baixa a moderada) na zona aquífera 1, devido a sua maior espessura de solos e manto de alteração, do que nas demais zonas.

5.5. SÍNTESE CONCLUSIVA

A Bacia U 30 tem como seu principal recurso de água subterrânea o Sistema Aquífero Fraturado Serra Geral, constituído por uma seqüência de lavas mesozóicas que compõem um sistema heterogêneo e anisotrópico, onde a ocorrência de água subterrânea está vinculada a descontinuidades. Tais descontinuidades são formadas por fraturas tectônicas e atectônicas.

O aquífero Guarani subjacente só é utilizado por um poço profundo em Santa Rosa (frigorífico Chapecó) e desempenha importante papel de reserva estratégica para a região.

Foram levantados neste estudo 355 poços tubulares que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral em uma profundidade média de 131,46 m. Apesar de atingirem até 470 metros, o intervalo de profundidade mais freqüente é o de 100 a 150 m. As vazões variam de nulas até 78,26 m³/h, com média de 15,31 m³/h, sendo o intervalo mais freqüente o de 5 a 10 m³/h. Os poços mais produtivos estão na faixa de 50 a 100 m, ocorrendo uma queda na produtividade com o acréscimo da profundidade, principalmente após os 150m.

O Sistema Aquífero Serra Geral foi separado em 4 domínios segundo seu comportamento hidrogeológico.

A Zona 1, considerada muito boa, é a maior de todas, abrange os setores centro-sul, nordeste e noroeste da bacia. Caracteriza-se por ocupar a região mais elevada da área de estudo, com relevo coxilhado, suave e plano, apresentando bom desenvolvimento de solos. Nas áreas bastante fraturadas ocorre a principal recarga do aquífero Serra Geral na região. É a zona potencialmente melhor em termos de água subterrânea e onde é possível se obter as melhores vazões atingindo até 80 m³/h.

A zona 2 ocorre nas porções oeste, noroeste e centro-nordeste da área, com relevo suave a moderado. Em termos de comportamento hidrogeológico trata-se de uma área transicional entre a recarga e descarga do aquífero fraturado. São previstas vazões médias entre 5 e 50 m³/h. Em algumas áreas junto ao rio Uruguai, são esperadas zonas de descarga do aquífero poroso subjacente (Aquífero Guarani). Alguns poços situados nestas áreas apresentam evidências hidroquímicas de mistura de águas do Aquífero Guarani com águas do Aquífero Serra Geral.

A zona 3 ocorre no setor nordeste da área ocupando áreas declivosas de relevo acentuado, apresentando solos pouco desenvolvidos, alta densidade de drenagem, o que reflete em um alto escoamento superficial. É considerada como uma zona potencialmente ruim para água subterrânea. Os poços geralmente são nulos ou têm pequenas vazões.

A 4ª zona caracteriza-se por pequenas áreas dispersas ao longo da bacia, que apresentam um relevo bastante acentuado, com alta declividade, solos delgados e altas taxas de deflúvio. É uma área potencialmente ruim para ocorrência de água subterrânea, com expectativa de vazões de no máximo 2 m³/h, não sendo recomendável a perfuração de poços tubulares. Deve-se optar nestas áreas por outra forma de captação como o aproveitamento de fontes.

A vulnerabilidade intrínseca do aquífero na bacia apresenta-se menor (baixa a moderada) na zona aquífera 1, devido a sua maior espessura de solos e manto de alteração, do que nas demais zonas.

A Reserva Renovável do Aquífero Fraturado Serra Geral na bacia U 30 é de 675.802.480,0 m³/ano; a Potencialidade e a Disponibilidade Virtual são iguais a 777.172.852,0 m³/ano.