



Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Avaliação de locais para perfuração de poços tubulares no Sistema Aquífero Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul por meio da análise dos fatores condicionantes e uso de técnicas de sensoriamento remoto.

Evaluation of sites for drilling tubular wells in the Serra Geral Aquifer System in the state of Rio Grande do Sul through the analysis of conditioning factors and use of remote sensing techniques.

Nelson Amoretti Lisboa¹; Pedro Antonio Roehe Reginato²;

¹ UFRGS, Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Porto Alegre, RS.

² UFRGS, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Departamento de Hidromecânica e Hidrologia, Porto Alegre, RS

✉ nelamorettilisboa@gmail.com, pedro.reginato@ufrgs.br

Palavras-chave:

Áreas aquíferas.
Fatores condicionantes.
Sensoriamento remoto.
Locação de poços.

Keywords

Aquifer areas.
Conditioning factors.
Remote sensing.
Well location.

Resumo

A prospecção de água subterrânea em regiões de ocorrência de aquíferos fraturados é uma tarefa complexa sendo que para a realização dessa atividade devem ser analisados diferentes parâmetros que condicionam a ocorrência desses aquíferos. Este trabalho tem por meta apresentar o estudo de locais mais favoráveis para a perfuração de poços no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no estado do Rio Grande do Sul. Na área de ocorrência do SASG quatro fatores fundamentais controlam o potencial de água subterrânea. Assim, o SASG foi dividido em seis áreas aquíferas, sendo que em cada uma delas foram avaliadas as características do clima, solos, geomorfologia e litologia. A definição de áreas mais favoráveis foi feita com base na interpretação de imagens de sensoriamento remoto (modelo numérico do terreno), cartas topográficas e na avaliação das características de cada uma das áreas. Os resultados indicaram que a área aquífera do Planalto Médio é a de maior potencial em quantidade de água, seguida das áreas do Planalto dos Campos Gerais, Planalto de Soledade, Alto Uruguai, Serra Geral e Planalto de Uruguiana. A locação de poços tubulares deve ser realizada com base na avaliação dos lineamentos (comprimento, orientação, grau de dissecação e intersecções), sendo que as áreas mais favoráveis a ocorrência de água estão associadas a intersecção de lineamentos, bem como a ocorrência de lineamentos de maior porte e com orientação noroeste.

Abstract

The prospecting of groundwater in regions where fractured aquifers occur is a complex task, and for this activity different parameters that condition the occurrence of these aquifers must be analyzed. This work aims to present a study about more favorable locations for the drilling of wells in the Serra Geral Aquifer System (SGAS) in the state of Rio Grande do Sul. In the area of occurrence of the SGAS, four fundamental factors control the groundwater potential. This way, the SGAS was divided into six aquifer areas, having climate, soil, geomorphology and lithology characteristics being evaluated in each one. The definition of more favorable areas was made based on the interpretation of remote sensing images (numerical terrain model) and topographic maps and on the evaluation of the characteristics of each area. The results indicated that the aquifer area of the Planalto Médio is the one with the greatest potential in terms of water, followed by the areas of the Planalto dos Campos Gerais, Planalto de Soledade, Alto Uruguai, Serra Geral and Planalto de Uruguiana. The location of tubular wells must be carried out based on the evaluation of the lineaments (length, orientation, degree of dissection and intersections), being that more favorable water occurring are associated with the intersection of lineaments, as well as the occurrence of larger and northwest oriented lineaments.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v35i1.30001>

1. INTRODUÇÃO

A prospecção de água subterrânea em regiões de ocorrência de aquíferos fraturados é uma tarefa complexa, pois envolve a aplicação de diferentes dados e técnicas para definir locais mais favoráveis a perfuração de poços. É uma atividade de grande importância pois permite a abertura de novos poços que poderão ser utilizados para resolver problemas, por vezes dramáticos, de pessoas e comunidades (rurais e urbanas) que estão relacionados a falta ou pouca oferta de recursos hídricos.

Em geral, os métodos de prospecção de aquíferos fraturados envolvem o uso de dados geológicos, estruturais, hidrogeológicos e geofísicos que são analisados e integrados de diferentes formas visando a delimitação de locais mais favoráveis para a perfuração de poços. Esses dados estão relacionados com os fatores condicionantes desses aquíferos, sendo que para Fernandes et al. (2007) e Fernandes (2008) os mesmos estão associados com a litologia, tectônica, lineamentos, manto de alteração existente sobre as rochas, relevo e ocorrência de blocos geológicos. Para Costa (2008) os principais fatores condicionantes que devem ser avaliados em estudos de locação são o relevo, a hidrografia, a ocorrência de coberturas sedimentares, a litologia e, principalmente, as estruturas existentes nas rochas. Esses dados em geral são obtidos por meio de levantamentos de campo e uso de imagens de sensoriamento remoto, sendo que podem ser integrados por meio de uso de técnicas de geoprocessamento, visando assim determinar novos locais para a perfuração de poços.

As estruturas tectônicas presentes nas rochas tem um papel de maior importância na formação e estruturação dos aquíferos fraturados, sendo que a avaliação desse fator, em geral, é feita por meio da análise de lineamentos. O estudo de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto fornece consistente apoio à escolha dos sítios definitivos para locação no meio fraturado, subsidiando os estudos geológicos, hidrogeológicos e geofísicos de detalhe no campo.

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no Rio Grande do Sul (RS), embora se caracterize como meio fraturado com porosidade secundária e menos produtivo do que os sistemas associados ao meio poroso primário, é o mais importante do Estado devido ao seu intenso aproveitamento para várias finalidades. A captação de água subterrânea vem ocorrendo há mais de cem anos através de milhares de poços que são utilizados principalmente para fornecer água para o abastecimento (urbano, comunidades rurais e doméstico), para a indústria e agricultura. Não só cidades de pequeno porte, mas também as de médio porte são muitas vezes abastecidas exclusivamente pelas águas captadas do SASG.

Estudos voltados para a prospecção de aquíferos fraturados ou locação de poços no SASG no estado do Rio Grande do Sul, foram desenvolvidos por diferentes pesquisadores, sendo que podem ser destacados os trabalhos de Takahashi (1991), Mobus (1997), Eilers (1993), Reginato (2003). Em geral as técnicas propostas por esses autores envolvem a análise de lineamentos (orientação, comprimento, cruzamento e densidade), grau de dissecação do relevo, espessura do manto de alteração ou tipos de solos e rede de drenagem. Esses dados cruzados com informações hidrogeológicas, análises estatísticas e uso de técnicas de sensoriamento remoto e/ou geoprocessamento permitem definir locais ou regiões mais favoráveis a perfuração de novos poços. Deve-se salientar que nos últimos anos, estudos desenvolvidos como trabalhos de conclusão de curso foram realizados em diferentes municípios ou regiões do estado, sendo que nesses trabalhos foram feitas avaliações de locais mais favoráveis a perfuração. Como exemplos pode-se citar os trabalhos de: Dias (2013), Frenzel (2017), Siculi (2018) e Pacheco (2019).

Com o objetivo de avaliar áreas mais favoráveis para a locação de poços no SASG no estado do Rio Grande do Sul foi desenvolvido esse estudo. O mesmo teve por meta promover uma avaliação da compartimentação de áreas aquíferas do SASG, determinar os principais fatores que controlam o potencial de cada uma dessas áreas e definir critérios para serem utilizados na localização de locais para perfuração de novos poços. A avaliação foi desenvolvida visando o uso de produtos de fácil acesso e que estão disponíveis na internet. A mesma é feita por meio da interpretação visual de imagens de sensoriamento remoto realçadas por ampliação de contraste e filtragem não direcional em Modelo Numérico do Terreno disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Os dados são transferidos para Carta Topográfica e imagem Google Earth com a finalidade de fazer a locação definitiva no campo, após geologia de detalhe do sítio indicado.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

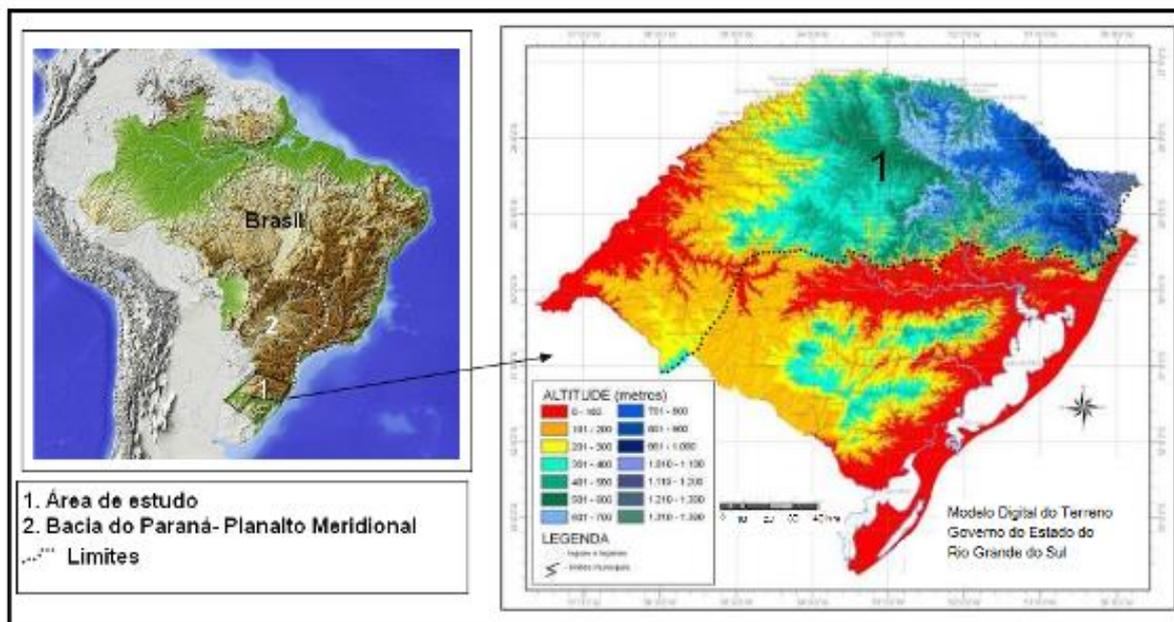
A área de estudo envolve a região de ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no estado do Rio Grande do Sul. A área está inserida no extremo sul do Planalto Meridional que é a maior unidade geomorfológica da Bacia do Paraná e abrange as regiões nordeste, norte, noroeste e sudoeste do estado (Figura 1).

Do ponto de vista geológico, a área faz parte da Bacia do Paraná, do Grupo São Bento e da Formação Serra Geral. Estratigraficamente, a Formação Serra Geral pertence à sequência superior do Grupo São Bento e corresponde a um amplo episódio de vulcanismo que encerrou a evolução do Continente Gondwana. Este imenso pacote de rochas vulcânicas, submetido à erosão desde o fim do Cretáceo, tem sido estudado por diversos pesquisadores no Rio Grande do Sul, sendo que podem ser destacados os trabalhos de Roisenberg (1989) e Chies (1994).

O contexto hidrogeológico é marcado pela ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral que é caracterizado por aquíferos fraturados que estão associados as estruturas existente nas rochas vulcânicas. Segundo Machado & Freitas (2005) esse sistema pode ser subdividido em unidades pois apresentam produtividade diferenciada. Diversos setores do SASG no Rio Grande do Sul foram estudados em vários aspectos, sendo importante destacar os trabalhos de Lisboa (1996), Reginato (2003), Betiollo (2006), Nani (2008), Freitas et al. (2016). Lisboa (1996) compartimentou o SASG no Rio Grande do Sul e propôs a ocorrência de estratificação hidrogeoquímica em seis áreas aquíferas individualizadas. Reginato (2003) identificou que as fraturas de direção noroeste são as condicionadoras da ocorrência de aquíferos

fraturados e de poços que apresentam maior produtividade. Betiollo (2006) estudou a hidrogeologia e hidroquímica dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani em uma área do nordeste do Rio Grande do Sul. Nanni (2008) estudou a origem e o condicionamento geológico do íon fluoreto nas águas do SASG no Rio Grande do Sul. Freitas et al. (2016) relacionam a química das águas do SASG do Rio Grande do Sul e Santa Catarina a diversas condições de recarga que ocorrem no Sistema.

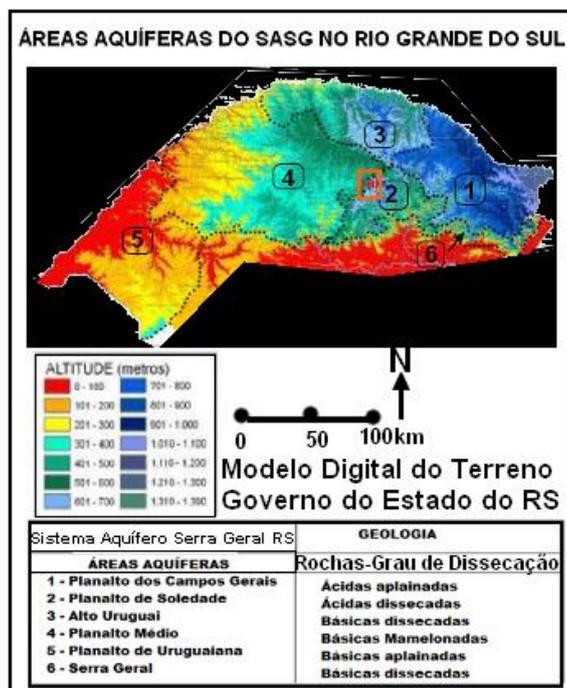
Figura. 1 – Localização da área de estudo.



3. FATORES QUE INFLUEM NA PLUVIOMETRIA, INFILTRAÇÃO, RECARGA, ARMAZENAMENTO E DESCARGA DO SASG

Baseado em variações do microclima, da geomorfologia, dos solos, das litologias e do padrão de estruturas, Lisboa (1996) dividiu o SASG em seis áreas aquíferas. A figura 2 ilustra as seis unidades discriminadas, denominadas em função da região fisiográfica-geomorfológica em que ocorrem e litologia tipo, tendo como referência os trabalhos de Lisboa (1996), Justus et al. (1986) e o mapa geológico do Rio Grande do Sul (CPRM 2008).

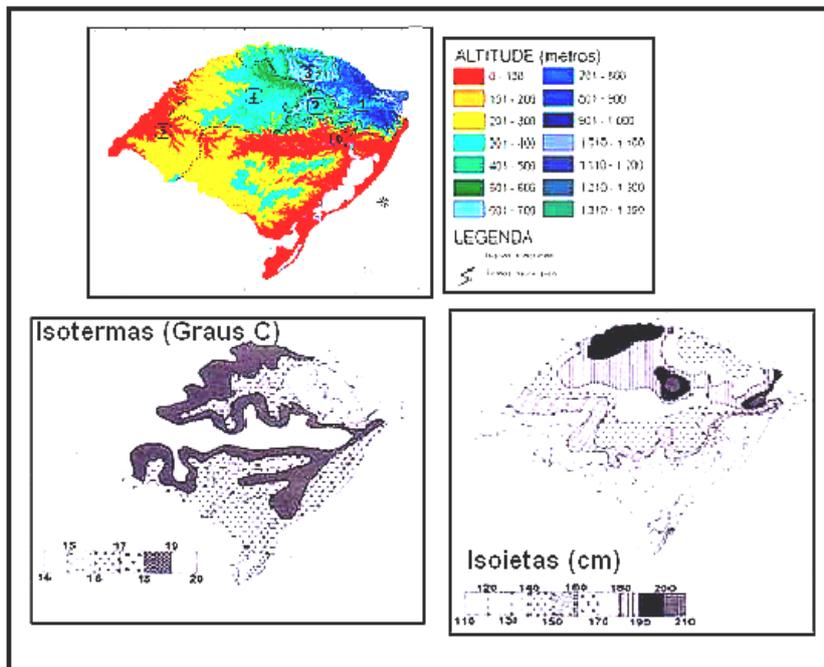
Figura 2 – Áreas aquíferas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul, modificado de Lisboa (1996).



3.1 - Clima e Hidrologia: Balanço Hídrico Parcial e Potencial de Recarga

As precipitações pluviométricas atuais são a principal fonte de recarga dos aquíferos. Por outro lado, a temperatura da atmosfera determina a taxa de evapotranspiração. No Rio Grande do Sul as taxas médias anuais destes dois parâmetros são proporcionais à altitude, na razão direta para as precipitações e na razão inversa para as temperaturas (Figura 3).

Figura 3 – Relação entre a altitude, taxas médias anuais de precipitação e taxas médias anuais de temperatura no Rio Grande do Sul. Modificado de Kuinchtner & Buriol (2001).

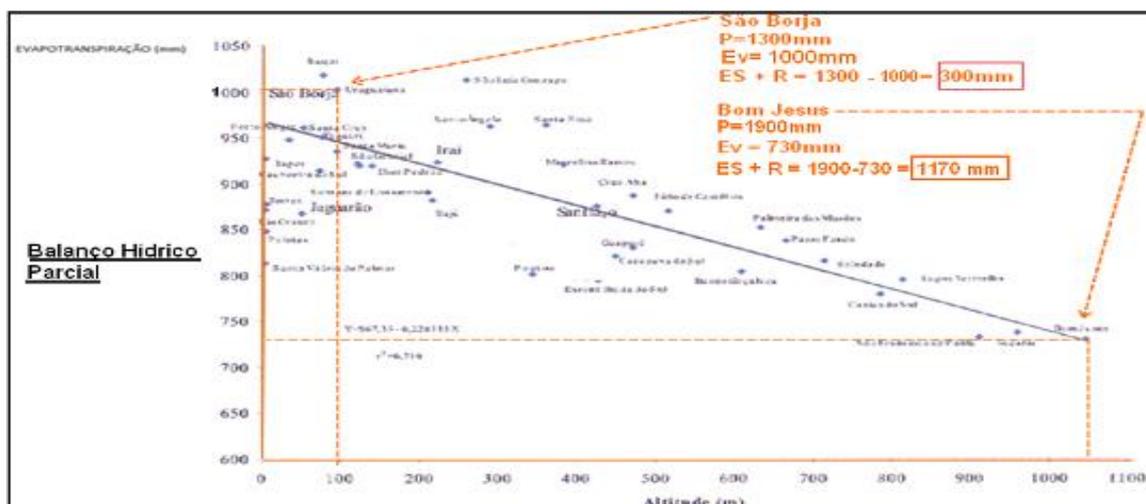


As mais altas taxas médias de precipitação decrescem de Leste para Oeste do Estado, enquanto que as taxas médias anuais de evapotranspiração decrescem de Oeste para Leste.

A evapotranspiração, impulsionada principalmente pelo aumento de temperatura, devolve parte da água precipitada para a atmosfera. O gráfico da figura 4 relaciona a taxa média de evapotranspiração com a altitude de municípios do Rio Grande do Sul e mostra ser esta, de modo geral, inversamente proporcional à altitude.

O fator continentalidade também influi negativamente no potencial de precipitação pluviométrica e positivamente na taxa de evapotranspiração.

Figura 4 – Relações da Evapotranspiração com as altitudes dos municípios do Rio Grande do Sul. Modificado de Kuinchtner & Buriol (2001). P – precipitações, EV – evapotranspiração, ES – escoamento superficial, R – Recarga.



A análise destes dados mostra que os municípios de baixa altitude têm menor disponibilidade hídrica para o escoamento superficial que abastece diretamente os rios e para a infiltração que é responsável pelo processo de recarga dos aquíferos.

Esta situação negativa para a acumulação de água subterrânea ocorre na unidade aquífera do Planalto de Uruguiana, onde se acumulam negativamente todos os fatores climáticos que influem na taxa de recarga dos aquíferos. No município de São Borja, tomado como exemplo, situado à altitude média de 100m, com precipitação média anual de 1300mm, temperatura média anual 20°C, taxa média anual de evapotranspiração 1000mm, a quantidade média de água anual disponível para recarga e escoamento superficial é somente 300 mm (Figura 4). Os dados acima apontam para um balanço hídrico desfavorável para a recarga média anual, principalmente no verão no qual ocorre déficit hídrico.

Na unidade aquífera Planalto dos Campos Gerais, onde se situa dentre outros o município de Bom Jesus, a taxa média anual de precipitação é de 1900 mm, a altitude média é de 800m e a taxa média anual de evapotranspiração é de 730 mm. Estas condições disponibilizam uma taxa média anual para escoamento superficial e infiltração de 1170 mm, quantidade que assegura excelente condição de recarga para os aquíferos.

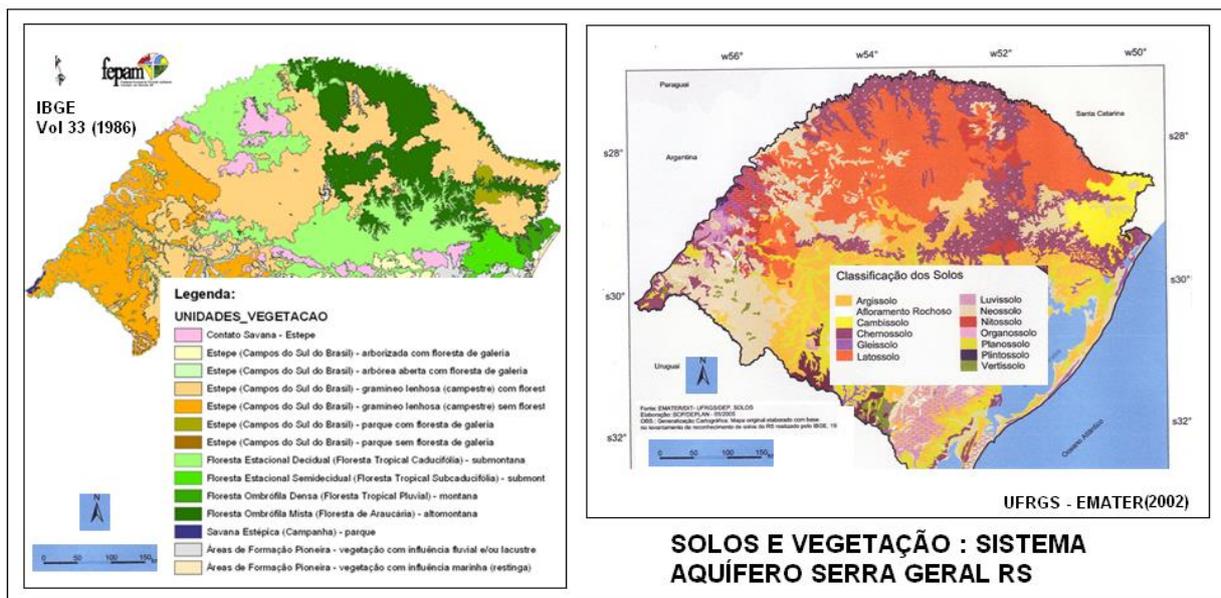
As demais áreas aquíferas apresentam condições intermediárias em relação a estes dois extremos, sempre em posição mais próxima das condições da unidade do Planalto dos Campos Gerais..

3.2 Solos e Vegetação: potencial de infiltração .

Os solos e a vegetação associada controlam a taxa de infiltração que propicia a recarga do Sistema Aquífero Serra Geral (Figura 5). De modo geral, solos com perfil espesso e textura arenosa são os mais favoráveis para a infiltração e solos rasos com textura argilosa favorecem o escoamento superficial.

A capacidade de infiltração dos solos do SASG foi avaliada com base em dados de Sartori et. al. (2005). Os autores elaboraram a classificação hidrológica dos solos brasileiros baseados no método do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos, sendo que os solos são agrupados em quatro classes de acordo com a taxa mínima de infiltração quando molhados.

Figura 5 - Vegetação e solos no Sistema Aquífero Serra Geral Rio Grande do Sul. Mapas modificados de IBGE (1986) e Streck et al. (2002) .



Os latossolos profundos, muito bem drenados com textura areno silteica a arenosa da unidade aquífera Planalto Médio pertencem à classe A, com alta taxa de infiltração quando molhados e taxa mínima de infiltração maior que 7,62mm/h. Nessa unidade a vegetação predominante é de campos com gramíneas (estepe) e mata galeria. O uso do solo é intenso, principalmente com monocultura de soja. A retirada da vegetação natural para o plantio tende a aumentar o escoamento superficial e diminuir a infiltração.

Os cambissolos pouco a medianamente profundos, medianamente drenados, com textura silteico argilosa que ocorrem na unidade aquífera Planalto dos Campos Gerais pertencem à classe B, com taxa média de infiltração quando molhados e taxa mínima entre 3,81 e 7,62mm/h. Nessa unidade a vegetação predominante é de gramíneas, arbustos lenhosos, campos pedregosos, mata galeria e mata araucária. A vegetação natural está relativamente preservada e as áreas ocupadas pela floresta de araucárias favorecem a infiltração da água.

Os chernossolos pouco ou medianamente profundos com textura fina argilo silteica, medianamente a mal drenados, que ocorrem nas unidades aquíferas do Alto Uruguai e Serra Geral pertencem à classe C, com baixa taxa de infiltração quando molhados e taxa mínima entre 3,81 e 1,27mm/h. Nessa unidade a vegetação predominante é de floresta ombrófila (mista e densa), a qual favorece a infiltração, diminuindo o escoamento superficial. O intenso uso do solo em sistema de minifúndio avança sobre as áreas florestadas, fato que tende a diminuir a infiltração e aumentar o escoamento superficial.

Os neossolos litólicos rasos, muito mal drenados que ocorrem nas unidades aquíferas do Planalto de Soledade e Planalto de Uruguiana pertencem à classe D, com muito baixa taxa de infiltração e muito alto escoamento superficial e infiltração mínima quando molhados menor

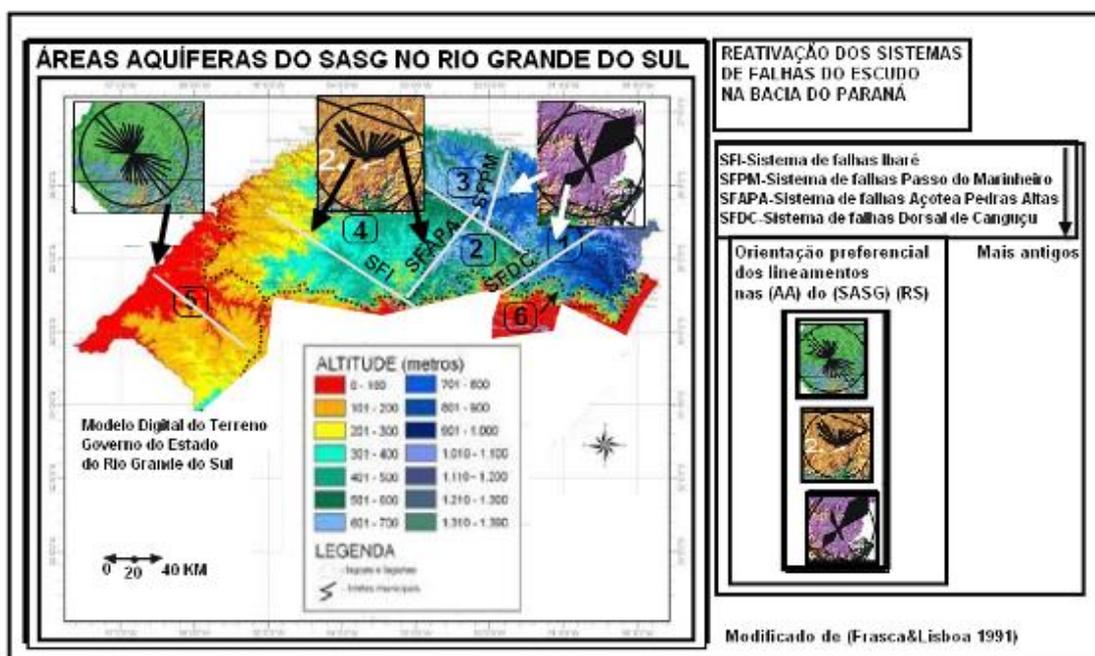
que 1,27 mm/h. No Planalto de Uruguiana predominam campos (pedregosos) com gramíneas (estepe) sem ou com escassa mata galeria. O uso do solo é para a pecuária, fato que relativamente preserva o meio natural. No Planalto de Soledade predominam campos sujos com arbustos (estepe) e mata galeria. O uso agrícola do solo (minifúndio e cultura extensiva de soja) tende a diminuir a infiltração e aumentar o escoamento superficial.

3.3 Geologia: Potencial de Armazenamento

A tectônica produtora de fraturas e falhas é o principal controlador do armazenamento de água subterrânea nas áreas aquíferas do SASG.

Os principais sistemas de falhas delimitam as áreas aquíferas. Os sistemas de fraturas que ocorrem em cada unidade aquífera se relacionam com reativações de falhas do Escudo Sul Riograndense (PICADA, 1971), sendo as mais expressivas as zonas de falha do Ibaré (com direção noroeste) Dorsal de Canguçu, Açotea-Pedras Altas (com direção nordeste). A Zona de Falha Passo do Marinheiro com orientação N20°E tem representação discreta (Figura 6).

Figura 6 – Esquema generalizado das principais direções produzidas pela tectônica de reativação do Escudo nas áreas aquíferas do Sistema Aquífero Serra Geral (RS). Modificado de Picada (1971) e Frasca & Lisboa (1991).



Nas áreas aquíferas Planalto dos Campos Gerais e Planalto de Soledade predominam falhas e fraturas com direção nordeste associadas à reativação das zonas de falha Dorsal de Canguçu, Açotea Pedras Altas. Na unidade aquífera Planalto de Uruguiana predominam falhas e fraturas na direção noroeste associadas à reativação da zona de falha do Ibaré. Nas áreas aquíferas Planalto Médio e Alto Uruguai há equilíbrio das duas direções NE e NW e a maior densidade relativa de fraturas (LISBOA, 1996).

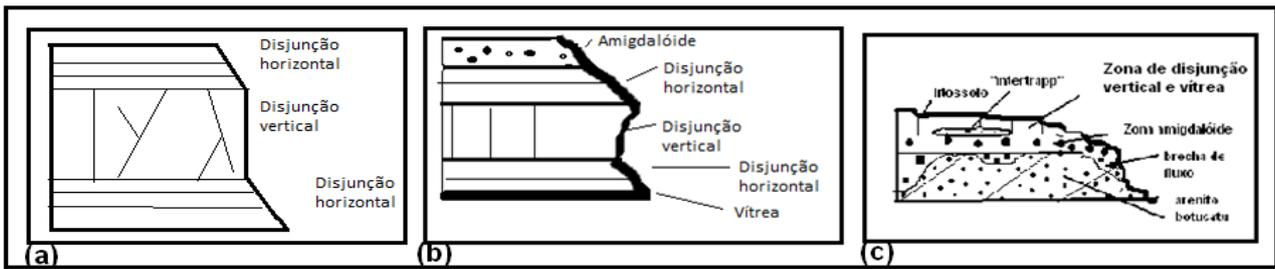
A intersecção de fraturas aumenta o armazenamento e é um bom ponto para local poços produtivos. Onde ocorrem as maiores quantidades de intersecções de fraturas são as áreas aquíferas Planalto Médio e Alto Uruguai. Por outro lado, a alta densidade relativa das fraturas e a interrupção destas em superfície por vales profundos, diminui o comprimento relativo das fraturas em superfície (lineamentos de pequeno porte nas imagens).

As áreas aquíferas que apresentam fraturas e falhas com maior comprimento em superfície, as quais funcionam potencialmente como grandes reservatórios de água, são Planalto dos Campos Gerais e Planalto de Uruguiana (lineamentos de médio porte nas imagens).

As áreas aquíferas Planalto Médio, Planalto de Soledade Alto Uruguai e Serra Geral apresentam comprimentos menores, devido a maior profundidade relativa dos vales que interrompem e fragmentam as fraturas em superfície (lineamentos de pequeno porte nas imagens).

As rochas vulcânicas ácidas, de modo geral, são mais impermeáveis do que as básicas, apresentam disjunções primárias verticais espaçadas e mal definidas no centro da unidade de fluxo, disjunções horizontais no topo e base. Estas estruturas primárias apresentam poucas conexões com as fraturas de origem tectônica (Figura 7a). Do ponto de vista hidrogeológico, a composição dessas rochas origina solos argilosos de pequena espessura, cambissolos, litossolos, e relevo com vertentes retilíneas escarpadas com muita rocha aflorante. Estas condições favorecem o escoamento superficial com a formação de cachoeiras na drenagem, quando esta corta a zona de disjunção vertical. Esta situação desfavorece a infiltração, diminui o armazenamento dos reservatórios principais que são as fraturas de origem tectônica. Esta condição ocorre nas áreas aquíferas Planalto dos Campos Gerais e Planalto de Soledade.

Figura 7 – Perfis esquemáticos idealizados de setores da Formação Serra Geral RS, (a) derrames ácidos (ROISENBERG, 1989), (b) derrames básicos (LEINZ, 1978), (c) derrames básicos em contato com arenitos (LISBOA, 1986).



As rochas vulcânicas básicas, de modo geral, apresentam maior riqueza de estruturas primárias em relação as ácidas, conectadas com as fraturas tectônicas, possibilitando uma boa recarga destas e diminuindo o escoamento superficial. O perfil ideal de uma unidade de derrame apresenta no topo zona vesicular a amigdalóide, zona superior de disjunção horizontal, zona maciça com disjunções verticais no centro, zona de disjunção horizontal inferior e zona vítrea na base (Figura 7b). A composição mineralógica, as texturas e estruturas primárias favorecem o intemperismo da rocha, dando origem a regolitos espessos, principalmente nas zonas vesiculares a amigdalóides, de disjunção horizontal e vítrea. Nestes setores inexistem afloramentos de rocha, formam-se espessos latossolos argilo arenosos que favorecem a infiltração para os reservatórios principais que são as fraturas tectônicas. Esta situação é característica da unidade aquífera do Planalto Médio.

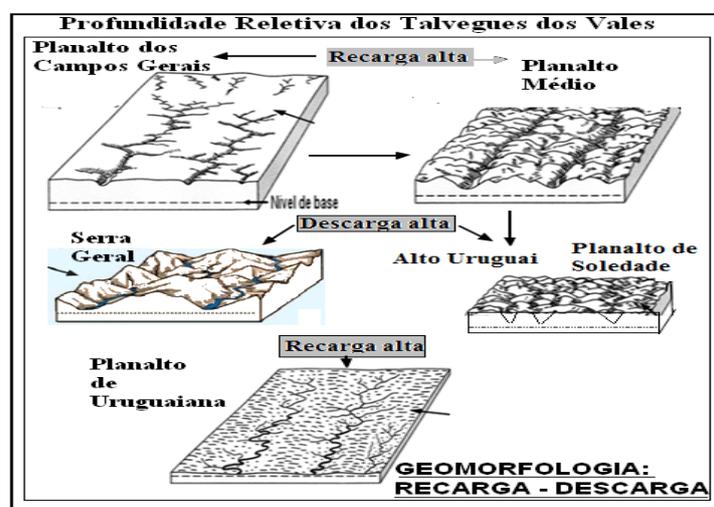
Na unidade aquífera do Alto Uruguai, a maior declividade desfavorece a formação de latossolos, desenvolvendo-se chernossolos argilosos de baixa permeabilidade que dificultam a infiltração, em favor do escoamento superficial. O mesmo ocorre na unidade Serra Geral. Mesmo assim o perfil de solo é bem desenvolvido sobre colúvios e os afloramentos de rocha são relativamente raros.

Na unidade aquífera Planalto de Uruguaiana, onde ocorrem pacotes vulcânicos basálticos na base da Formação Serra Geral, o zoneamento esquematizado na figura 7b não se repete. Apesar do alto grau de aplainamento e altura e as incisões dos talwegues dos vales serem baixas, os perfis de solos espessos comumente associados a basaltos não ocorrem. Predominam litossolos que favorecem o escoamento superficial. Esta resposta peculiar do basalto ao intemperismo nessa unidade deve-se à mistura dos derrames da base da Formação Serra Geral, com a superfície das dunas do paleo deserto Botucatu. Ocorrem também muitas lentes de arenito “intertrapp” muito recozidos e horizontes de peperitos no corpo dos derrames que realçam o potencial para formação de litossolos. Nesse caso o perfil ideal dos derrames apresenta na base, peperitos sobre o assoalho de paleo dunas areníticas do deserto Botucatu, que engloba grande quantidade de areia, fundida ou não. Logo acima zona vesicular a amigdalóide, estas preenchidas por zeolitas, calcita e quartzo. O topo do derrame apresenta zona de disjunção colunar e vítrea (Figura 7c).

3.4 Geomorfologia:Potencial de Descarga.

Entende-se por profundidade relativa do talvegue dos vales, a diferença de nível entre o fundo do vale e o divisor de águas. Quanto mais profundo o vale, maior é a quantidade de água subterrânea potencial perdida, pois ocorre alta condição de descarga nas paredes do vale sob a forma de vertentes, fontes e outros exutórios (Figura 8).

Figura 8 - Modelo conceitual ideal, ilustra a variações das profundidades relativas dos talwegues dos vales adaptadas para as seis áreas aquíferas, e suas relações com recarga - descarga, modificado de Holmes (1944).



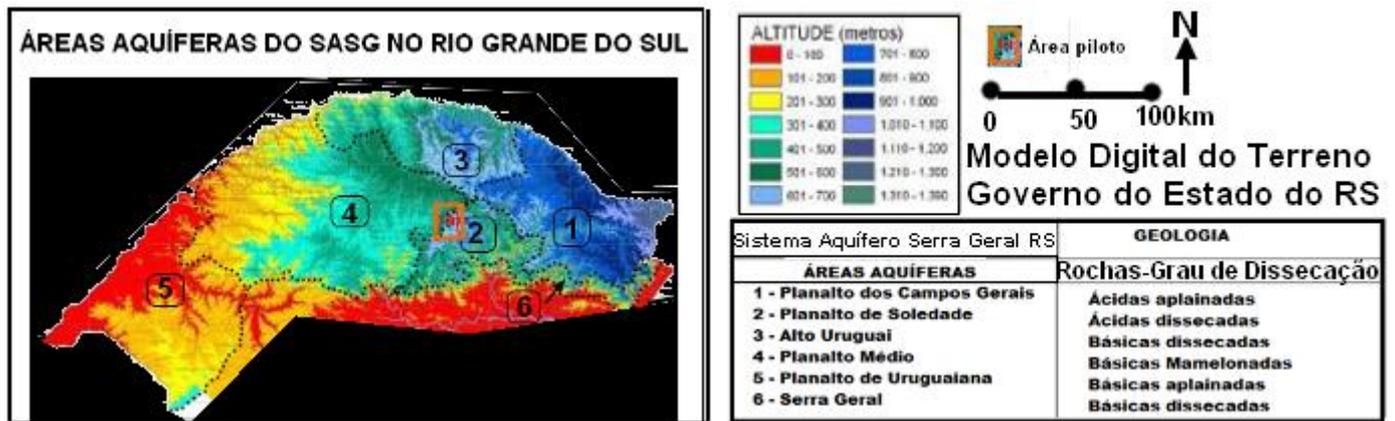
O meio fraturado do SASG em áreas com vales profundos e estreitos tem baixo potencial de recarga e armazenamento, seja pela perda de água descrita acima, seja pela fragmentação em superfície das fraturas maiores seccionadas pelos vales. Tal situação é encontrada nas áreas aquíferas Alto Uruguai, Planalto de Soledade e Serra Geral.

A unidade aquífera Planalto Médio apresenta vales de profundidade média a baixa com poucos exutórios, ou seja, baixa taxa de descarga. Já as áreas aquíferas Planalto dos Campos Gerais e Planalto de Uruguaiana apresentam vales com baixa profundidade relativa, assim a descarga pelas vertentes dos vales para canais dos rios é baixa.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A área escolhida para demonstrar a metodologia proposta, aplicada para a locação preliminar de obras de captação no Sistema Aquífero Serra Geral (RS), corresponde à folha topográfica Vitor Graef (área piloto) do Serviço Geográfico do Exército (SGE) na escala original 1:50 000 (Figura 9).

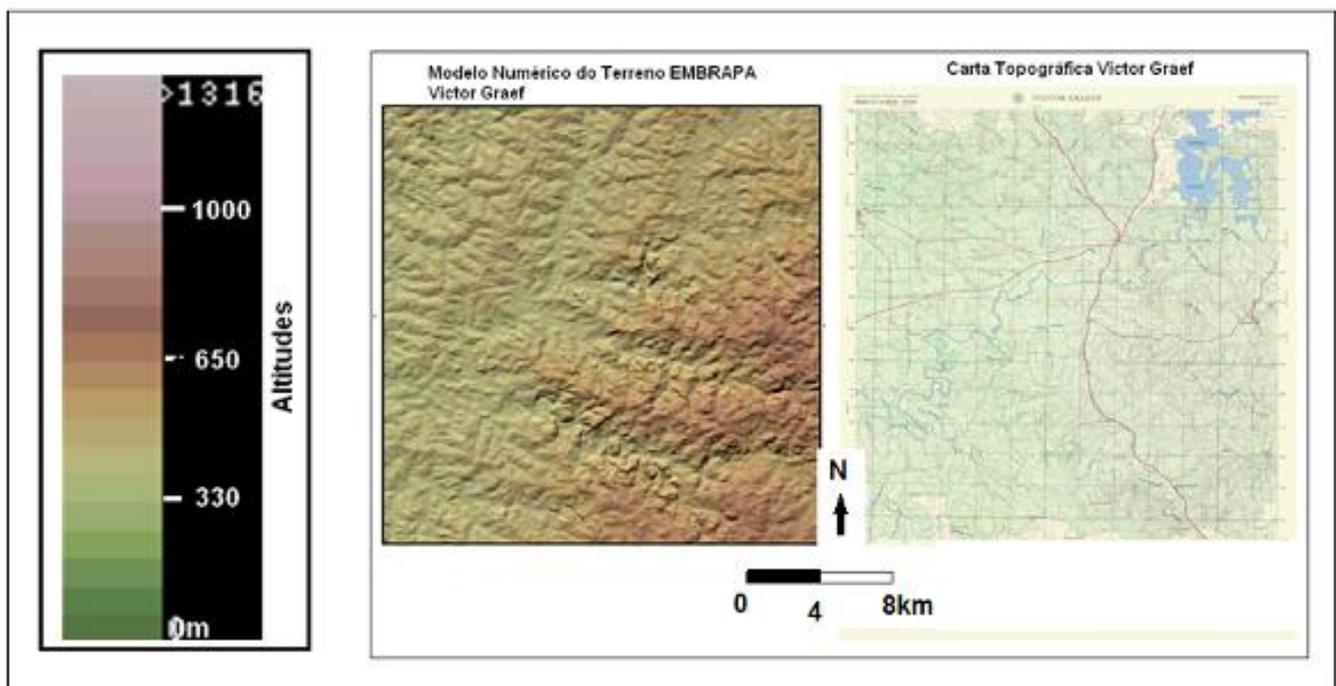
Figura.9 - Localização da área piloto, carta Viktor Graef, onde foi desenvolvida a metodologia.



A metodologia adotada para auxiliar as tarefas inerentes à fase preliminar de prospecção, baseia-se no acesso a “softwares”, Quantum Gis, Photofiltre, imagens de sensoriamento remoto e cartas topográficas, todos livres e de fácil acesso na Internet.

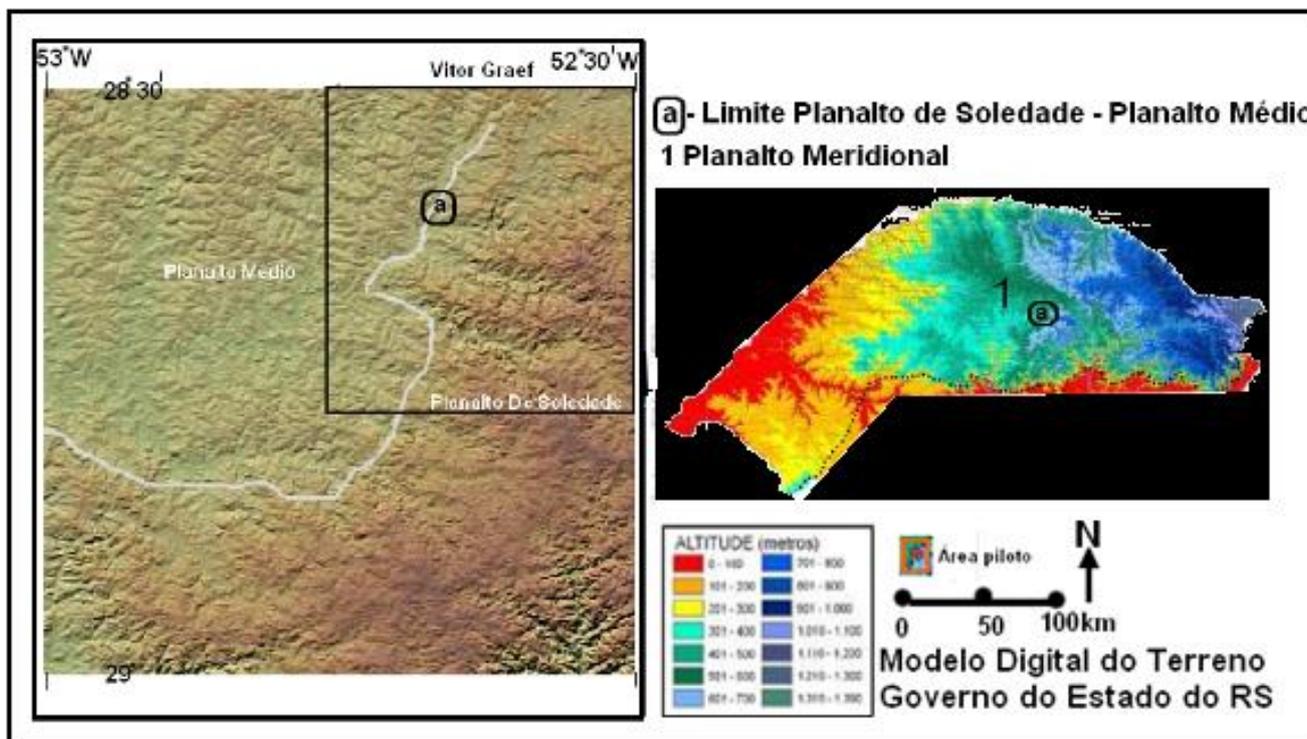
As imagens do Modelo Numérico do Terreno (MNT - disponíveis em www.relevobr.cnpm.embrapa.br) e as cartas topográficas (disponíveis em www.ufsm.br/cartografia/) foram utilizadas na interpretação da área e no traçado de lineamentos (Figura 10).

Figura 10 - Produtos utilizados na metodologia adotada, imagem Modelo Numérico do Terreno EMBRAPA e Carta Topográfica, Divisão de Levantamento do Exército do Brasil.



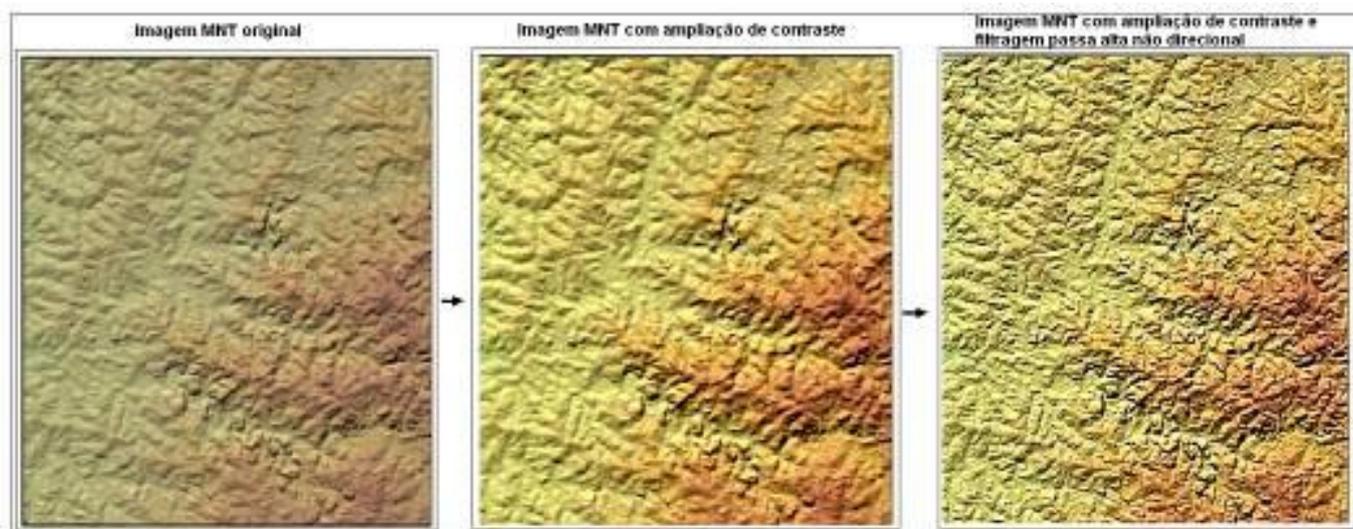
A delimitação regional das áreas aquíferas Planaltos de Soledade e Médio que ocorrem na área piloto é nítida em imagens MNT (Figura 11), balizada por quebra brusca de altitude correspondente ao limite entre as rochas ácidas a Leste (sul no Planalto de Soledade) e basaltos (a noroeste no Planalto Médio).

Figura 11 - Limite regional entre as Áreas Aquíferas Planalto de Soledade e Planalto médio, traçado em imagem MNT. (a) limite entre os planaltos, o quadro interno delimita a Carta Viktor Graef.



Foi então realizado o processamento da imagem, realce de imagem (ampliação de contraste e filtragem passa alta não direcional) feita no programa Phtofiltre (disponível em www.photofiltre-studio.com) com objetivo de otimizar a aereo interpretação (Figura 12).

Figura 12 - Processamento da imagem MNT correspondente à Carta Viktor Graef no programa Photofiltre, realce por ampliação de contraste e filtro passa alta não direcional (terceira imagem).



Na imagem realçada (Figura 13) foram traçados visualmente os lineamentos e estabelecidos blocos morfoestruturais individualizados pelo grau de dissecação e características dos lineamentos (densidade, comprimento e orientação).

A última etapa pré campo consiste em locar preliminarmente a obra de captação em determinada área da imagem aereointerpretada, com sua localização na carta topográfica e imagem Google Earth para a locação definitiva no campo (Figura 14).

Por fim, são então definidas as condições hidrogeológicas do sítio da locação, conforme apresentado na tabela 1.

Figura 13 – Blocos morfoestruturais e lineamentos, individualizados em MNT realçado, na área correspondente à folha topográfica Vitor Graef. Para a amplitude do relevo, consultar figura 10.

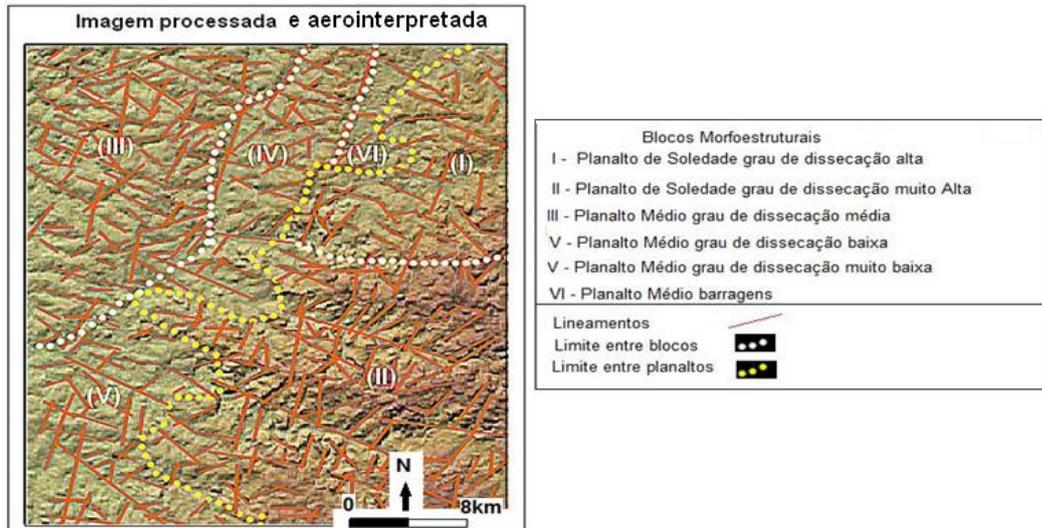


Figura 14 – Escolha preliminar de sítios para perfuração e localização na Carta Topográfica e imagem Google Earth.

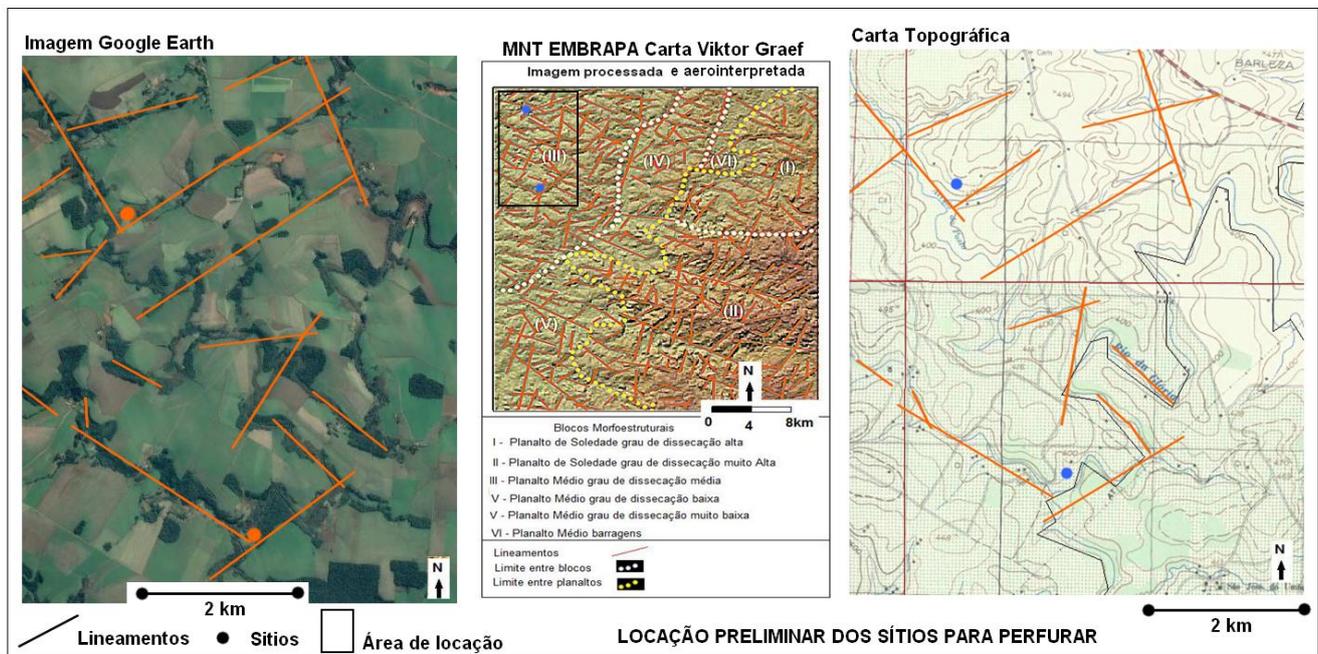


Tabela 1 – Condições Hidrogeológicas da área definida para a locação.

Fator Condicionante	Parâmetros	Descrição
Clima e Hidrologia	Precipitação, Evapotranspiração Escoamento e Infiltração	Precipitações médias anuais de 1800mm, evapotranspiração anual de 875mm, disponibilidade média anual para escoamento superficial e infiltração de 925mm
Solos	Solos	Latossolos com boa capacidade de infiltração
Geomorfologia	Profundidade Relativa dos Talvegues dos Vales	Moderada, baixa taxa de descarga
Estrutural	Lineamentos	Pequeno Porte nas direções NE e NW
Geologia	Litologia	Rochas Básicas
Avaliação Final: Boas condições de armazenamento na intersecção de lineamentos		

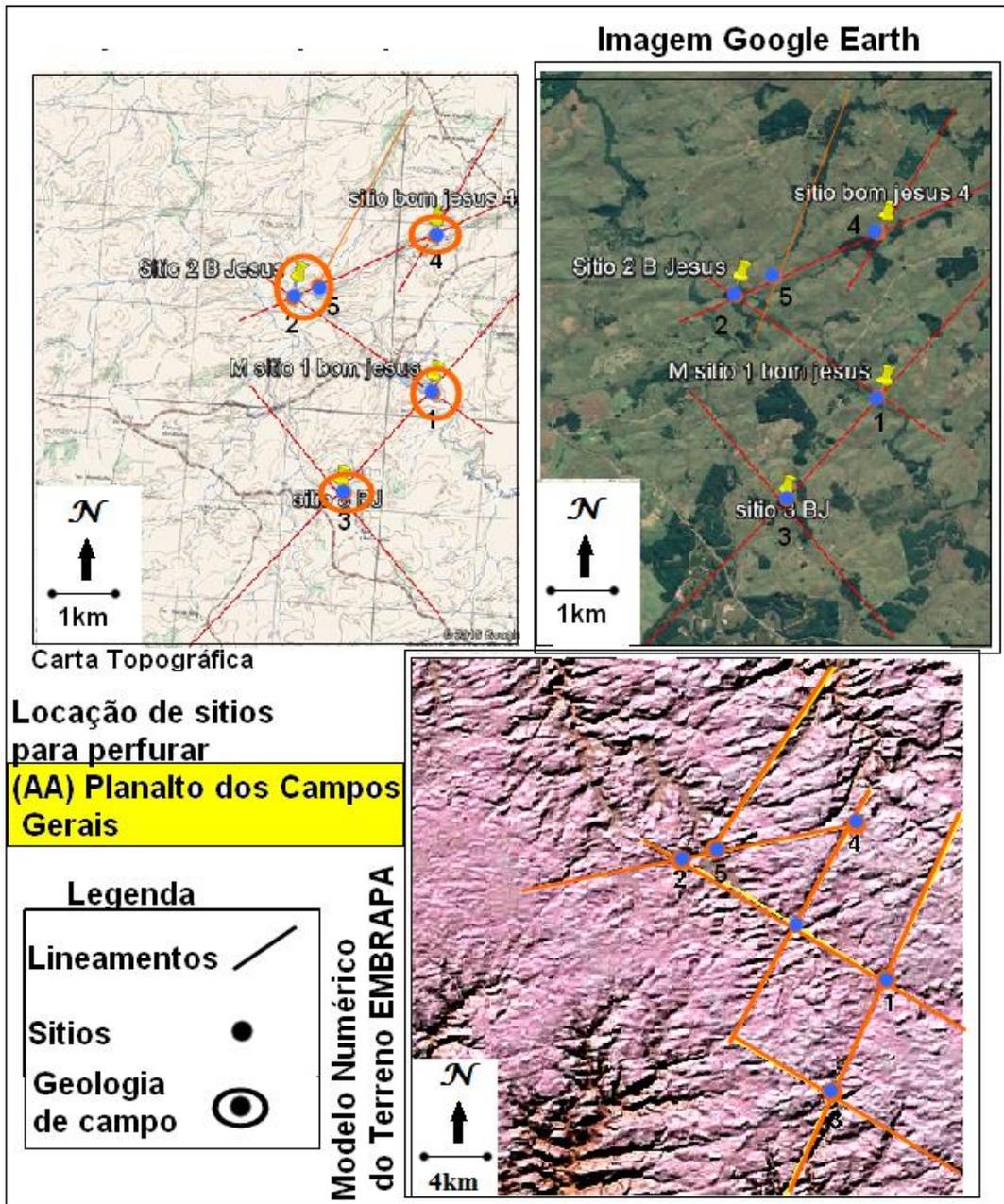
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia desenvolvida para a locação preliminar de água no SASG no Rio Grande do Sul foi aplicada para cada uma das unidades aquíferas discriminadas, resultando na locação preliminar de sítios para perfuração de novos poços em cada uma delas, bem como a estimativa preliminar das condições hidrogeológicas dos sítios escolhidos.

5.1 Locação preliminar na área aquífera Planalto dos Campos Gerais.

Para a locação preliminar nesta área aquífera foi escolhida a área correspondente à carta topográfica de Bom Jesus. Na imagem MNT realçada traçou-se os principais lineamentos de médio porte e nas intersecções de lineamento locou-se quatro sítios para perfurar com perspectivas de bom potencial de armazenamento nestas fraturas. Os dados foram transpostos para imagem Google Earth e Carta Topográfica, para a locação dos sítios no campo. Os resultados são apresentados na figura 15.

Figura 15 – Locação de sítios para perfurar na unidade aquífera Planalto dos Campos Gerais.



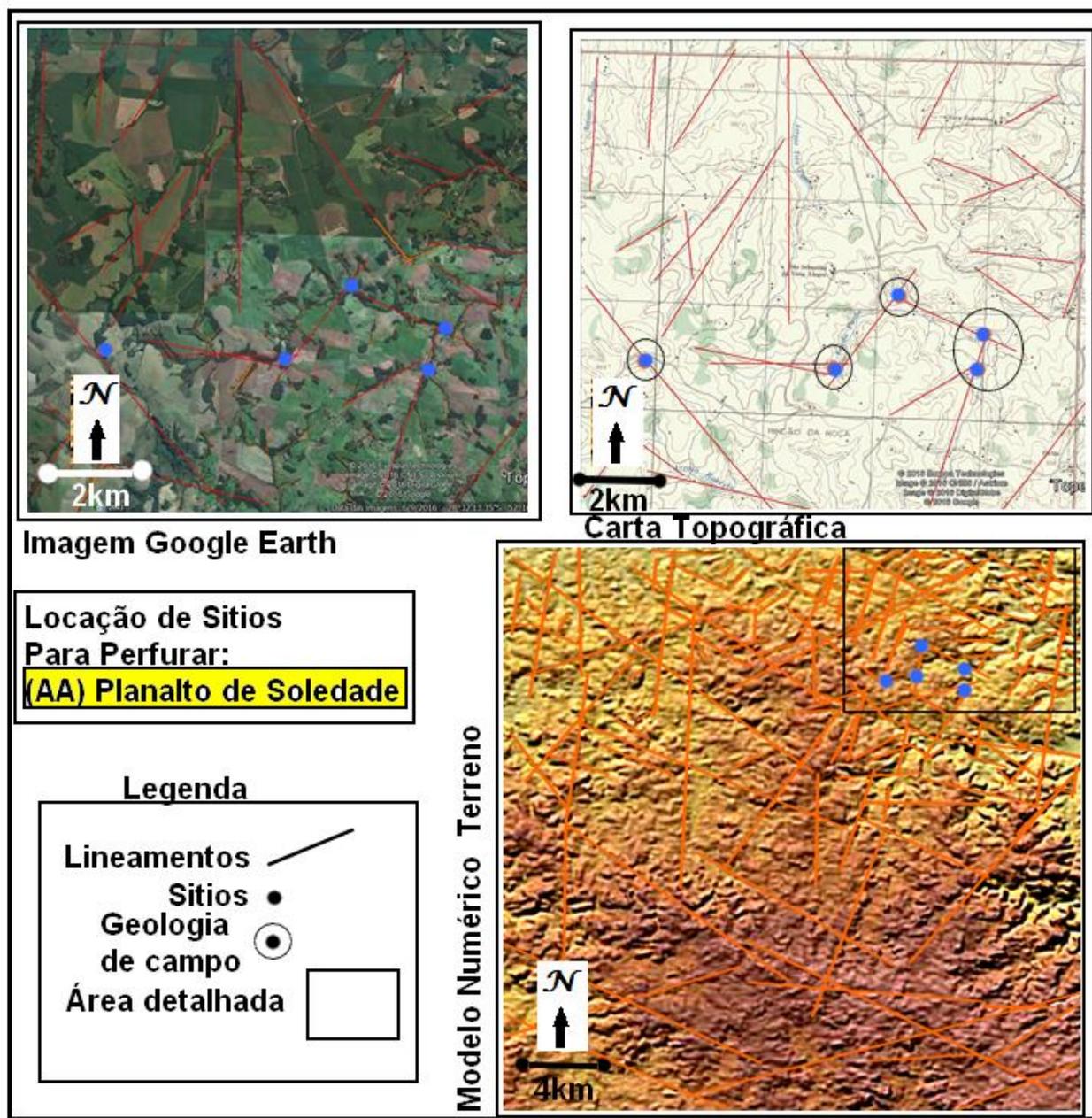
Fatores Condicionantes	Parâmetros	Descrição
Clima e Hidrologia	Precipitação, Evapotranspiração Escoamento e Infiltração	Precipitação médias anuais de 1900mm, evapotranspiração anual de 730mm, escoamento superficial e infiltração média anual de 1170mm Boas Condições de Recarga
Solos	Solos	Cambissolos com condições médias de infiltração
Geomorfologia	Profundidade Relativa dos Talvegues dos Vales	Baixa e baixa taxa de descarga
Estrutural	Lineamentos	Lineamentos de Médio e Pequeno Porte
Geologia	Litologia	Rochas Vulcânicas Ácidas

Avaliação Final: Boas condições de armazenamento nos lineamentos de médio porte e na intersecção de lineamentos. Baixas condições em lineamentos de pequeno porte e nulas fora dos lineamentos.

5.2 Localização preliminar na área aquífera Planalto de Soledade

Para a localização preliminar nesta área aquífera foi selecionada a área correspondente à carta topográfica Soledade. Foi feito o traçado dos lineamentos regionais na imagem MNT realçada e efetuado o detalhe na parte norte da área, onde foi escolhido o setor nordeste para efetuar a localização de cinco sítios para perfurar. Os dados aerointerpretados foram transpostos para imagem Google Earth e Carta Topográfica para efetuar a geologia de campo e a localização definitiva dos sítios para perfurar. Os resultados são apresentados na figura 16.

Figura 16 – Localização preliminar de sítios para perfurar na unidade aquífera Planalto de Soledade.

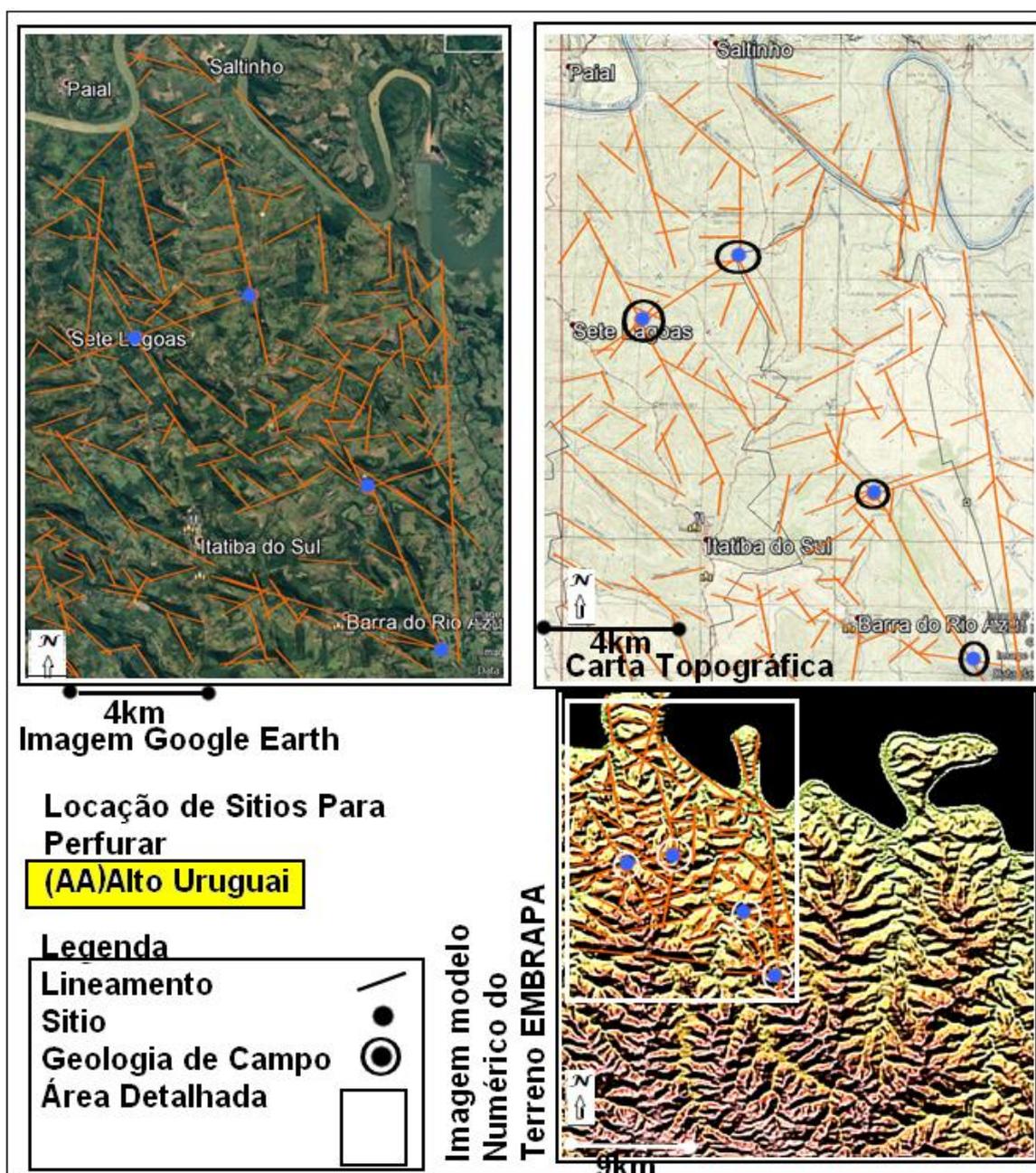


Fatores Condicionantes	Parâmetros	Descrição
Clima e Hidrologia	Precipitação, Evapotranspiração Escoamento e Infiltração	Precipitação médias anuais de 1900mm, evapotranspiração anual de 730mm, escoamento superficial e infiltração média anual de 1170mm Boas Condições de Recarga
Solos	Solos	Cambissolos e Litossolos com condições médias a baixas de infiltração
Geomorfologia	Profundidade Relativa dos Talwegues dos Vales	Alta e altas taxas de descarga
Estrutural	Lineamentos	Lineamentos de Pequeno Porte

5.3 Locação preliminar na área aquífera Alto Uruguai

Para a locação preliminar nesta área aquífera foi definida a área correspondente à carta topográfica Aratiba. Os lineamentos foram traçados na parte noroeste da imagem MNT realçada com o objetivo de localizar quatro sitios para perfurar. Os dados aerointerpretados foram transferidos para Imagem Google Earth e Carta Topográfica para posterior geologia de campo e locação definitiva dos sitios para perfurar. Os resultados são apresentados na figura 17.

Figura. 17 - Locação preliminar de sitio para perfurar na unidade aquífera Alto Uruguai



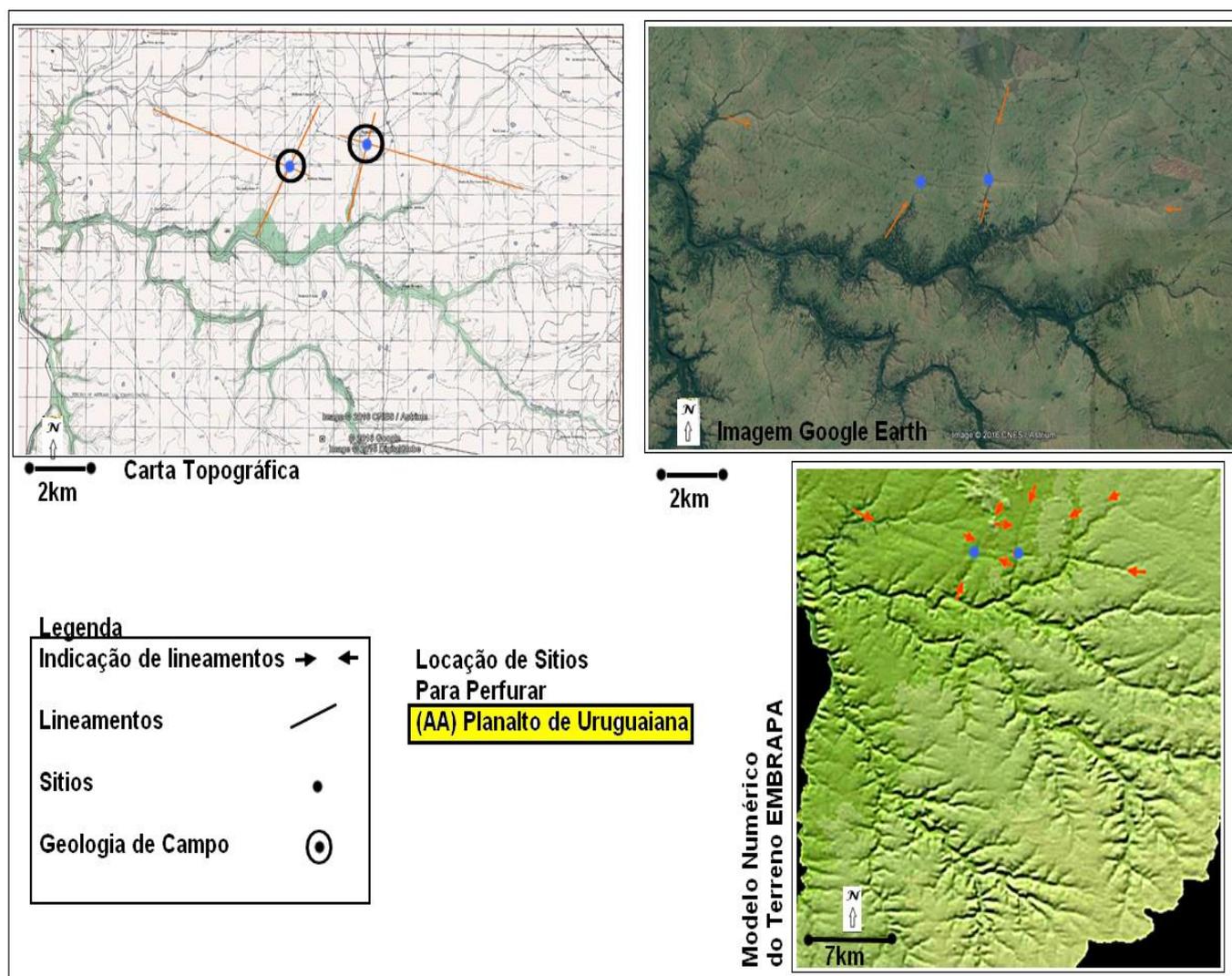
Fatores Condicionantes	Parâmetros	Descrição
Clima e Hidrologia	Precipitação, Evapotranspiração Escoamento e Infiltração	Precipitação médias anuais de 1900mm, evapotranspiração anual de 730mm, escoamento superficial e infiltração média anual de 1170mm Boas Condições de Recarga
Solos	Solos	Chernossolos com condições médias de infiltração
Geomorfologia	Profundidade Relativa dos Talvegues dos Vales	Alta e altas taxas de descarga

Estrutural	Lineamentos	Lineamentos de Pequeno Porte
Geologia	Litologia	Rochas Vulcânicas Básicas
Avaliação Final: Baixas condições de armazenamento nos lineamentos de pequeno porte e na intersecção de lineamentos.		

5.4 Locação preliminar na área aquífera Planalto de Uruguaiana

Para a locação preliminar nesta área aquífera foi utilizada a área correspondente à carta topográfica Campo Osório – Arroio Invernada. Foi selecionada uma área na imagem para aerointerpretar os lineamentos e escolher dois sítios preliminares para perfurar novos poços tubulares. Os dados aerointerpretados foram transferidos para a imagem Google Earth e Carta Topográfica, que direciona a geologia de detalhe no campo e a locação definitiva dos sítios a perfurar. Os resultados são apresentados na figura 18.

Figura 18 - Locação preliminar de sítios para perfurar na unidade aquífera Planalto de Uruguaiana.

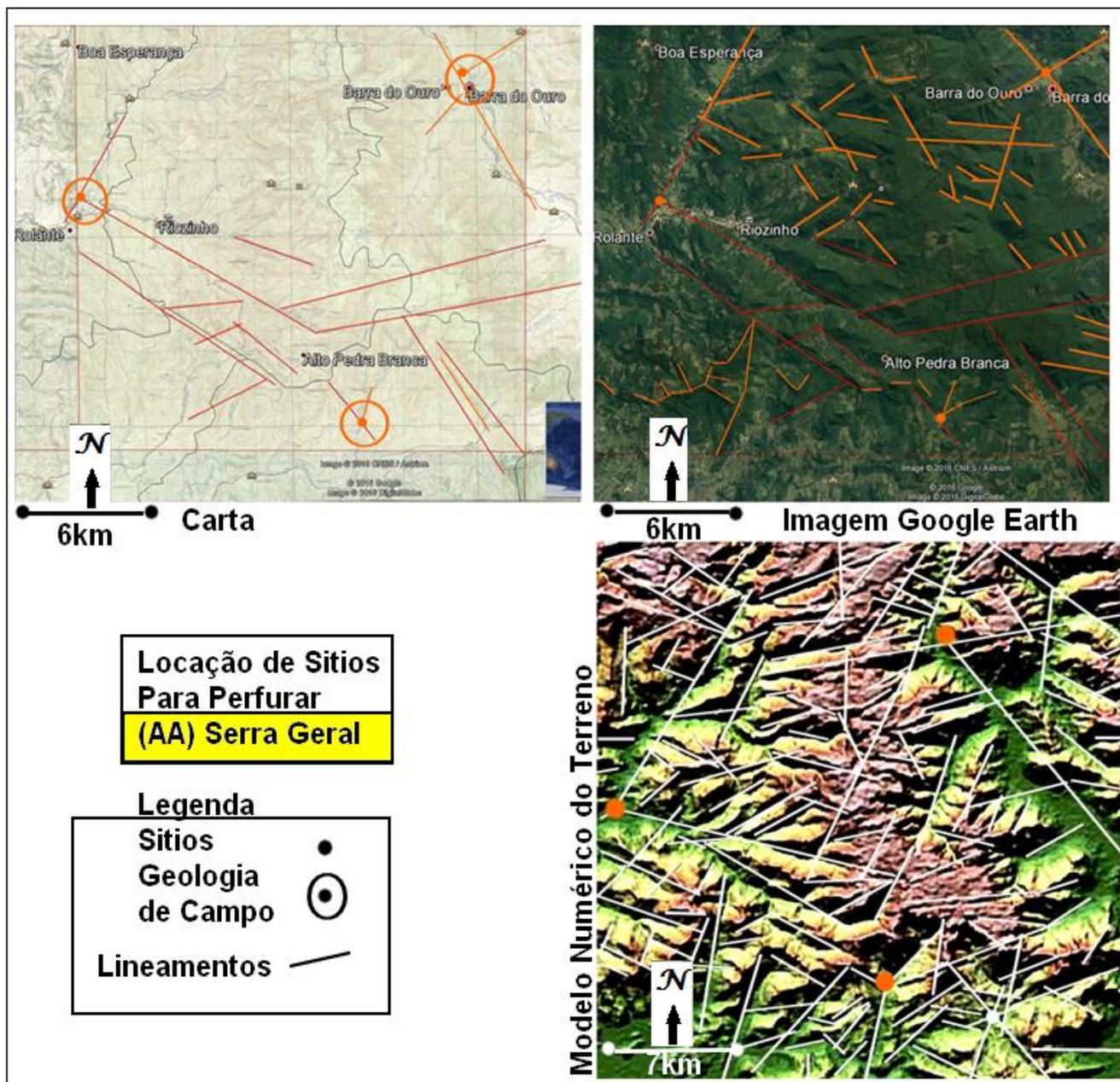


Fatores Condicionantes	Parâmetros	Descrição
Clima e Hidrologia	Precipitação, Evapotranspiração Escoamento e Infiltração	Precipitação médias anuais de 1300mm, evapotranspiração anual de 1000mm, escoamento superficial e infiltração média anual de 300mm Muito baixa condição de recarga
Solos	Solos	Litossolos com condições baixas de infiltração
Geomorfologia	Profundidade Relativa dos Talwegues dos Vales	Baixa e baixas taxas de descarga
Estrutural	Lineamentos	Lineamentos de Médio e Pequeno Porte
Geologia	Litologia	Rochas Vulcânicas Básicas com parte basal da sequência com arenitos Interderrames e peperitos
Avaliação Final: Baixas condições de armazenamento nos lineamentos de médio e pequeno porte.		

5.5 Locação preliminar na área aquífera Serra Geral

Para a locação preliminar nesta área aquífera foi avalida a área correspondente à carta topográfica Barra do Ouro. Os lineamentos foram traçados na Imagem MNT com o objetivo de locar três sítios para a perfuração de poços. Os dados aereointerpretados foram transferidos para a imagem Google Earth e Carta Topográfica e servem de base para a geologia de detalhe no campo e a locação definitiva do sítio a perfurar. Os resultados são apresentados na figura 19.

Figura 19 - Locação preliminar de sítio para perfurar na unidade aquífera Serra Geral.

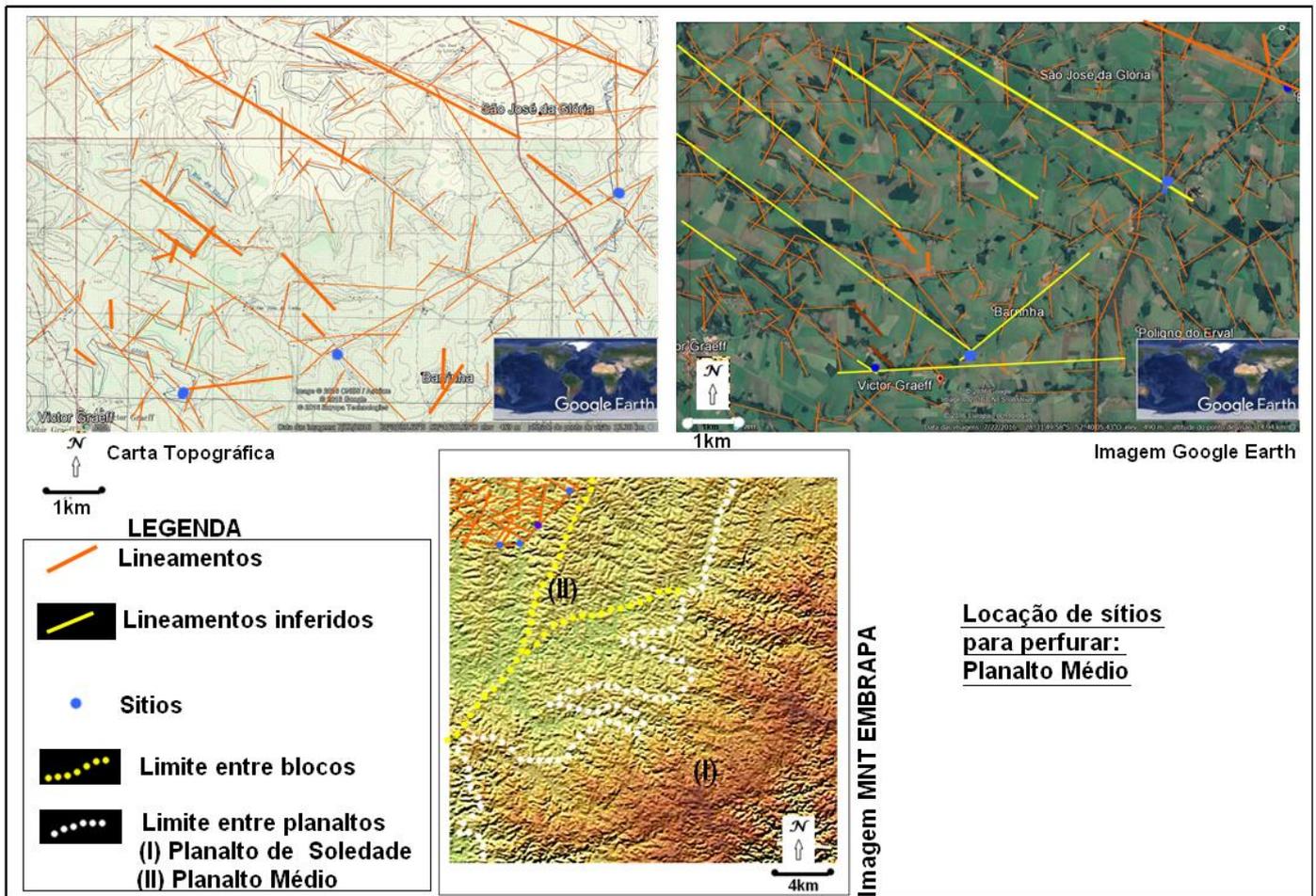


Fatores Condicionantes	Parâmetros	Descrição
Clima e Hidrologia	Precipitação, Evapotranspiração Escoamento e Infiltração	Precipitação médias anuais de 1800mm, evapotranspiração anual de 730mm, escoamento superficial e infiltração média anual de 1170mm Boas Condições de recarga
Solos	Solos	Chernossolos com condições médias de infiltração
Geomorfologia	Profundidade Relativa dos Talvegues dos Vales	Muito Alta e elevadas taxas de descarga
Estrutural	Lineamentos	Lineamentos de Pequeno Porte
Geologia	Litologia	Rochas Vulcânicas Básicas
Avaliação Final: Muito baixas condições de armazenamento nos lineamentos de pequeno porte.		

5.6 Locação preliminar na área aquífera do Planalto Médio

Para a locação de sítios na unidade aquífera do Planalto Médio foi analisada a área correspondente à Carta Topográfica Viktor Graeff, Na parte nordeste da Carta, efetuou-se o traçado em detalhe dos lineamentos no Modelo Numérico do Terreno EMBRAPA e foram locados três sítios para perfurar poços tubulares. Os dados foram transferidos para a Carta Topográfica e Imagem Google Earth, com a finalidade de facilitar o trabalho de campo e a locação definitiva dos sítios. Os resultados são apresentados na figura 20.

Figura. 20 – Locação de sítios para perfurar poços na unidade aquífera do Planalto Médio.



Locação de sítios para perfurar: Planalto Médio

Fatores Condicionantes	Parâmetros	Descrição
Clima e Hidrologia	Precipitação, Evapotranspiração Escoamento e Infiltração	Precipitação médias anuais de 1800mm, evapotranspiração anual de 875mm, escoamento superficial e infiltração média anual de 925mm Boas Condições de recarga
Solos	Solos	Latossolos com condições boas de infiltração
Geomorfologia	Profundidade Relativa dos Talvegues dos Vales	Moderada e baixa taxa de descarga
Estrutural	Lineamentos	Lineamentos de Pequeno Porte nas direções NE e NW
Geologia	Litologia	Rochas Vulcânicas Básicas
Avaliação Final: boas condições de armazenamento na intersecção de lineamentos, por isso recomenda-se a locação nas intersecções.		

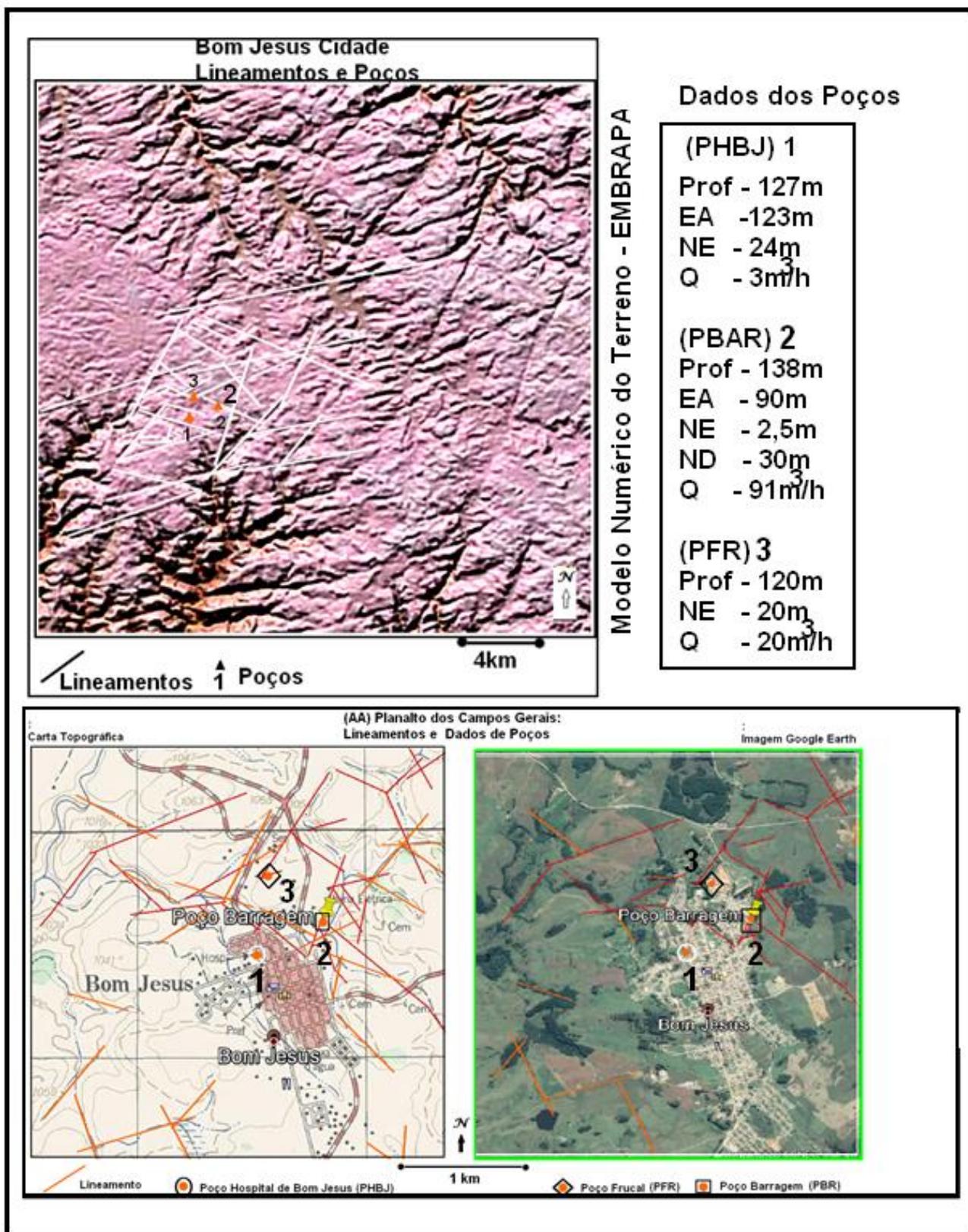
5.7 - Validação da Metodologia

Com o objetivo de testar a metodologia através de dados de poços ela foi aplicada na unidade aquífera do Planalto dos Campos Gerais, na região abrangida pelo município de Bom Jesus levando em conta os dados de três poços tubulares disponíveis no banco de dados SIAGAS da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), denominados Bom Jesus Hospital (PBJH), Barragem (PBAR) e Frutal (PFR). Os resultados são apresentados na figura 21.

A situação dos poços em relação aos lineamentos traçados mostra que o poço PBJH (1) situado no pátio do hospital Bom Jesus, relativamente afastado de lineamentos apresenta vazão de exploração modesta de 3m³/h. Já os poços PBAR (2) e PFR (3), associados a lineamentos e à intersecção de lineamentos, apresentam vazões de exploração altas. O PBAR produz vazão de 91m³/h que pode ser considerada como extremamente alta, se for levada em conta que a média das maiores vazões de poços no SASG é em torno de 20 m³/h, no estado do Rio Grande do Sul, Já o poço PFR apresenta vazão de exploração de 20m³/h, compatível com a média das maiores vazões do SASG no estado.

Essa avaliação demonstra a efetiva relação entre o alto potencial de armazenamento no SASG associado a lineamentos, mapeados em imagens de sensoriamento remoto, que correspondem no terreno a extensas zonas de fratura nas rochas ígneas vulcânicas da Formação Serra Geral (situações dos poços PBAR (2) e PFR (3)). Por outro lado, setores afastados de lineamentos tendem a baixos potenciais de armazenamento no SASG (situação do poço PHBJ (1)).

Figura 21 – Relações dos lineamentos com a produtividade de poços de controle.



6. CONCLUSÕES

Os resultados do estudo demonstram que a classificação, descrição e entendimento das áreas aquíferas individualizadas no SASG (no estado do Rio Grande do Sul) é possível pela análise de quatro parâmetros fundamentais que são os condicionadores da ocorrência de aquíferos fraturados.

A locação de obras de catação em cada área aquífera deve ser feita, levando em conta condições de microclima que controlam a disponibilidade de água para recarga, solos e vegetação que determinam o potencial de infiltração, geologia (estruturas e litologia) que balizam a capacidade de armazenamento e geomorfologia que influi nas variações climáticas, taxa de descarga e comprimento relativo dos lineamentos (fraturas e falhas).

A área aquífera Planalto dos Campos Gerais tem como fatores positivos a excelente taxa de recarga, a baixa profundidade relativa dos talwegues dos vales e o grande comprimento das fraturas em superfície. Os solos com textura argilosa são o principal fator que dificulta a infiltração de água para as fraturas. Em termos de quantidade de água esta é a segunda melhor área aquífera do SASG, no Rio Grande do Sul.

A área aquífera Planalto Médio tem como fatores positivos a alta taxa de recarga, a baixa a média profundidade relativa dos talwegues dos vales, latossolos com textura areno argilosa e arenosa, grande número de fraturas em superfície, e intersecção de fraturas. São quatro fatores positivos para boa quantidade de água nesta área. Comprimentos menores das fraturas são compensados pelo grande número de intersecção destas. Esta unidade aquífera é a de maior potencial do SASG no Rio Grande do Sul.

A área aquífera Alto Uruguai apresenta como fator positivo as boas possibilidades de recarga e como fator negativo, a presença de solos com textura argilosa que dificultam a infiltração de água. Nessa área ocorrem muitas fraturas de pequeno comprimento em superfície, com baixa capacidade de armazenamento devido à alta profundidade dos talwegues dos vales, o que propicia a presença de muitos exutórios nas encostas com altas taxas de descarga.

A área aquífera Planalto de Soledade apresenta como fator positivo as boas possibilidades de recarga e como fatores negativos solos com textura siltico argilosa e litossolos que dificultam a infiltração de água, fraturas de pequeno comprimento em superfície com baixa capacidade de armazenamento e vales profundos que criam uma condição de alta descarga nas encostas sob a forma de fontes, vertentes e nascentes. Esta situação hidrogeológica se assemelha à condição descrita para a área aquífera Alto Uruguai. Do ponto de vista geomorfológico, o Planalto de Soledade é uma forma residual do Planalto dos Campos Gerais, apresenta resíduos desta superfície planáltica onde as condições para a locação de obras de captação são melhores do que no Alto Uruguai, onde inexistem resíduos de superfície planálticas que foram consumidas pelos processos de denudação.

A área aquífera Serra Geral apresenta como fator positivo boas possibilidades de recarga e como fatores negativos solos com textura siltico argilosas sobre a rocha sã, colúvios nas encostas que não favorecem altas taxas de infiltração, lineamentos de pequeno porte associados a vales profundos com altas taxas de descarga nas encostas. São condições semelhantes as que ocorrem na área aquífera Alto Uruguai.

A área aquífera Planalto de Uruguiana, apresenta como fatores positivos topo aplainado com baixa profundidade dos talwegues dos vales, lineamentos de médio porte e como fatores negativos baixas condições de recarga e infiltração.

Os resultados permitem estabelecer que a melhor área aquífera é o Planalto Médio, e em segundo lugar o Planalto dos Campos Gerais. Segue-se a área aquífera Planalto de Soledade, que consiste de resíduos da superfície aplainada Planalto dos Campos Gerais. Nas áreas aplainadas os poços tubulares localizados em intersecções de fratura produzem vazões moderadas. As áreas aquíferas Alto Uruguai e Serra Geral com alto grau de dissecação não apresentam superfícies de aplainamento residuais, o que resulta em fraturas de pequeno comprimento em superfície e altas taxas de descarga nas encostas dos vales com prognóstico de baixas vazões na captação dos aquíferos fraturados. Já a área aquífera Planalto de Uruguiana apresenta déficit de recarga e baixa taxa de infiltração, condições que tornam esta área a de menor potencial aquífero para o Sistema Aquífero Serra Geral. No entanto a pequena espessura do pacote de rochas vulcânicas favorece a captação do Sistema Aquífero Guarani que ocorre sotoposto ao SASG.

Para uma melhor avaliação de cada uma das unidades aquíferas e visando melhorar os processos de locação, sugere-se que sejam realizadas análises de dados hidrogeológicos de poços existentes nas áreas que estão sendo avaliadas para definição de novos locais de perfuração. Esses dados quando cruzados com as características de cada uma das áreas aquíferas permitiram definir locais mais favoráveis à perfuração com mais segurança.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. O planalto basáltico da Bacia do Paraná. *Boletim paulista de Geografia*, n 24: 3 – 33. 1956.

BETIOLLO, L. M. Caracterização estrutural hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 127p. 2006.

CHIES, J. O. Petrologia e geoquímica do vulcanismo no Mesozóico da Bacia do Paraná, na região ocidental do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 223 p. Dissertação de Mestrado, programa de Pós Graduação Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 223p. 1992.

- COSTA, W. D.. Hidrogeologia dos Meios Fissurados. In: Feitosa, F. A. C. (org) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3ed. rev e ampl. Rio de Janeiro, CPRM. LABHID. 2008. 812p.
- CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul* escala 1:750 000. Porto Alegre. 2008
- DIAS, F.A. Caracterização Estrutural e Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na Região de Carlos Barbosa (RS). Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2013
- EILERS, V.H.M.. Análise Hidrogeológica da Região Sudoeste do Rio Grande do Sul através de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Recursos Hídricos e Saneamento. IPH, UFRGS. 143p. 1993
- FERNANDES, A.J.. Aquíferos Fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação. *Revista do Instituto Geológico*, 29(1/2): 49-72. 2008.
- FERNANDES, A.J., PERROTA, M.M., SALVADOR, E.D., AZEVEDO, S.G., FILHO, A.G., PAULON, N.. Potencial dos aquíferos fraturados do Estado de São Paulo: Condicionantes geológicos. *Revista Águas Subterrâneas*, 21(1):65-84. 2007.
- FRASCA, A.A, LISBOA, N.A. Contribuição do sensoriamento remoto na compartimentação morfotectônica e morfoestrutural da Bacia do Paraná, Grupo São Bento, RGS e suas relações com as estruturas do embasamento. In: 7º Simpósio de Sensoriamento Remoto. Curitiba. Anais. 3, p. 211-220. 1993.
- FREITAS, M. A., ROISENBERG, A., ANDRIOTTI, J. L. S.. Análise exploratória de dados de condutividade elétrica nas águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Águas Subterrâneas*, 30 (1): 1-17. 2016.
- FRENZEL, M. G. Avaliação Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na Região de Garibaldi, RS. Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017.
- Holmes, A. Principles of Physical Geology. Thomas Nelson and Sons LTD, London, 532p. 1944
- IBGE. Levantamento dos recursos naturais, geomorfologia, v.33, p.313- 388.1986.
- JUSTUS, O. J., MACHADO, M. L., FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. Folia SH 22 Porto Alegre e parte das folia SH 21 Uruguaiana e e SH 22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro IBGE. Levantamento de Recursos Naturais. Cap. I, p 29 – 312. 1986.
- KUINCHTNER, A. & BURIOL, G. A.. Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Exatas*, v.2, n.1: 171-182. 2001.
- Leinz, V. Geologia geral. Editora Nacional, 397p. 1978
- LISBOA, N. A.. Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, programa de Pós Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 135p. 1996.
- MACHADO, J.L.F.; FREITAS, M.A. Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro. CPRM. 1 mapa. Escala 1:750.000.
- MOBUS, G.. Análise Estrutural e Hidrogeológica do Aquífero Fraturado da Formação Serra Geral Região Noroeste do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Recursos Hídricos e Saneamento. IPH, UFRGS. 124p. 1987.
- NANNI, A. S.. O flúor em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: Origem e condicionamento geológico. Porto Alegre.. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 115p. 2008.
- PACHECO, A. R.. Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos na região de Nova Petrópolis. Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2019.
- PICADA, R. S., Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul Rio Grandense, caracterização dos sistemas de falhas. In: 25º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. Anais, p. 539 – 547. 1971.
- REGINATO, P. A.. Integração de dados hidrogeológicos para a prospecção de aquíferos fraturados no trecho da bacia hidrográfica Taquari–Antas (RS). Porto Alegre. 254 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 254p. 2003.
- ROISENBERG, A.. Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido Mesozóico da província meridional da Bacia do Paraná. Porto Alegre. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 285p. 1989.
- SARTORI, A., NETO, F. L., GENOVEZ A. M.. Classificação hidrológica dos solos brasileiros para a estimativa de chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos parte 1:Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 10. 2005.
- SICULI, F. J. M. Caracterização Hidrogeológica e hidroquímica do município de Quaraí, RS. Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia. Instituto de Geociências. UFRGS. Porto Alegre, 93f. 2018.
- STRECK, E.V., KAMPF, N., DALMOLIM R.S.D, KLAMT, E., NASCIMENTO, P.R., SCHNEIDER, P.. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER-UFRGS, 107 p. 2002.
- TAKAHASHI, H.A.. Caracterização Morfoestrutural e Hidrogeológica de Aquíferos em Meio Fraturado Através de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Análise Estatística, em Setor do Planalto Meridional-RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Recursos Hídricos e Saneamento. IPH, UFRGS. 126p. 1991