

QUALIDADE DAS ÁGUAS DO SAG PARA USO EM IRRIGAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL E PARTE SUDOESTE DE SANTA CATARINA

*José Luiz Flores Machado*¹

Resumo --- Este artigo estuda a possibilidade de uso na irrigação das águas do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado do Rio Grande do Sul e parte do sudoeste de Santa Catarina que faz divisa com este estado. É feita uma retrospectiva do conhecimento anterior sobre o sistema aquífero, com as suas características estruturais, de constituição litológica, de potencialidade e condições de qualidade e potabilidade das águas.

O estudo da qualidade agronômica de suas águas foi baseado em índices de primeiro grau dos resultados analíticos e índices de segundo grau, quando em combinação de vários dados. Na classificação das águas para irrigação, foi utilizado o gráfico proposto pelo U.S. Salinity Laboratory, por ser considerado o mais restritivo.

Neste artigo são apresentados os resultados obtidos em 8 poços profundos na porção norte do Rio Grande do Sul e sudoeste de Santa Catarina. Observa-se que ocorrem águas de má qualidade em grande parte da região, com valores de SAR e salinidade que são restritivos para seu uso em irrigação.

Abstract --- This article deals with the irrigation capability of the Guarani Aquifer System (GAS) in the state of Rio Grande do Sul and part of the state of Santa Catarina. Its distribution and spatial characteristics are described in detail for Brazil and MERCOSUL area. The tectonic structure, potentiality and water chemistry of its compartments are also fixed.

The study of the agronomical quality of its waters was based on analytical results of first grade indices, and on results of second grade when combined with several other data.

The assortment of the waters for irrigation was made according to the US Salinity Laboratory parameters for its restrictions.

This article introduces the data obtained from eight deep water wells in northern Rio Grande do Sul and southwestern Santa Catarina. Bad water quality was detected in a wide part of the study area, where RAS values and salinity restrains its use for irrigation.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Guarani, irrigação, qualidade da água.

¹ CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Porto Alegre. Rua Banco da Província, 105. Porto Alegre, RS. CEP: 90840-030. Tel: 51-34067300. e-mail: machado@pa.cprm.gov.br

INTRODUÇÃO

Desde o início do século 20, são conhecidas camadas arenosas no Brasil e outros países limítrofes do MERCOSUL, que originárias de dunas de um antigo deserto, formaram um extenso reservatório de água na atualidade. Antes de 1995, elas eram conhecidas como pertencentes ao Aquífero Botucatu. Em um trabalho da Petrobrás de Araújo *et al* (1995,1999), foram incluídas outras formações geológicas e ele passou a chamar-se Aquífero Gigante do Mercosul. Logo após, em maio de 1996, em um workshop na cidade de Curitiba (Paraná), o geólogo uruguaio Danilo Anton propõe o nome de Guarani à camada aquífera que, imaginava-se, era transfronteiriça entre os quatro países que formavam o bloco econômico do MERCOSUL. Este aquífero chegou a ser considerado e divulgado na imprensa como o maior do mundo e seria constituído de um mega-reservatório de água subterrânea doce e potável. Suas reservas estratégicas de água poderiam abastecer a população brasileira por cerca de 2.500 anos. Realmente, com estes dados apresentados, poderíamos excluir de nossas preocupações uma futura crise da água, pois a natureza nos teria presenteado uma fonte de água subterrânea, de boa qualidade e quase inesgotável. Mas, na realidade estudos baseados na química das águas demonstraram que sua qualidade pode não ser apropriada para a potabilidade, como também para seu uso na irrigação.

COMO NOVOS ESTUDOS DESCREVEM O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO BRASIL E NO MERCOSUL?

Ainda não existem estudos detalhados sobre toda a área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani no Brasil e nos outros países do MERCOSUL. Entretanto, o termo “Guarani” introduzido recentemente representa uma simplificação, já que engloba em uma única denominação um conjunto heterogêneo de unidades que podem conter muita, pouca ou nenhuma água, que são designadas por unidades hidroestratigráficas. Essas unidades aquíferas de diferentes potencialidades, algumas exploradas a mais de cem anos, já foram estudadas em maior ou menor detalhe por pesquisadores dos países do MERCOSUL.

No Brasil, além do Rio Grande do Sul, que será detalhado mais adiante, existem mais sete estados onde o Sistema Aquífero Guarani ocorre. Em quase todos, os estudos indicam grandes descontinuidades devido a influências da intensa estruturação, como ocorre, p.ex., no Arco de Ponta Grossa (Paraná), onde as estruturas geológicas e as intrusões vulcânicas dividem o sistema aquífero em muitos fluxos independentes e não transfronteiriços. O estado de São Paulo apresenta excelente conformação estrutural, facilitando a recarga, circulação e descarga das águas subterrâneas. O fluxo das águas não é transfronteiriço. No Mato Grosso do Sul a superfície potenciométrica indica fluxos

das águas principalmente em direção ao rio Paraná. Com relação à qualidade das águas, nos estados de Santa Catarina e Paraná ocorrem extensas áreas de águas com alta salinização, não potáveis. Em São Paulo e Mato Grosso do Sul, as águas tornam-se mais salinas nas proximidades do rio Paraná. Os estados do Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais necessitam de estudos mais aprofundados, porém, como as camadas aquíferas estão próximas das áreas de recarga, as águas tendem a possuir baixos teores de sais.

No Uruguai, a hidroestratigrafia do Sistema Aquífero Guarani é complexa e muito semelhante à que ocorre na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. Sua conformação estrutural é favorável ao fluxo das águas, entretanto, os valores de salinidade aumentam próximo ao rio Uruguai, do mesmo modo que a temperatura das águas. Na Argentina predominam as águas termais e o sistema aquífero é totalmente confinado em grandes profundidades. Na Província de Entre Rios é possível observar-se um incremento exagerado na salinidade do aquífero a partir do rio Uruguai, quando poços termais que tinham águas com aproximadamente 1.000 mg/l de sais, passam a apresentar águas com mais de 100.000 mg/l de sais, quase três vezes o valor encontrado na água do mar.

O Paraguai apesar da extensa área aflorante mostra também grande heterogeneidade hidrogeológica e águas de boa qualidade. Entretanto, apresenta em sua porção confinada próxima ao rio Paraná, extensa faixa de águas salobras e termais.

Um estudo no estado do Rio Grande do Sul (Machado, 2005) aponta para uma direção contrária das interpretações ora em voga. Nele a abordagem do tema foi direcionada para uma definição: Afinal de contas, o que é o Aquífero Guarani? Esta pergunta só pode ser respondida se forem levadas em consideração suas características hidroestratigráficas e suas condições estruturais. A abordagem exclusiva do ponto de vista hidrogeológico é mais factível quando trata de uma camada aquífera bem delimitada e conhecida, o que não é o caso do Aquífero Guarani.

SITUAÇÃO ESTRUTURAL

O Aquífero Guarani situa-se dentro das bacias geológicas do Paraná e Chaco-Paranaense e nelas ocupa uma área de 1.200.000 km² (Rocha, 1997). A evolução estrutural dessa grande área pressupõe que esforços tectônicos intensos propiciaram a ocorrência de extensas zonas de fraqueza. O embasamento das bacias geológicas onde se encontram as camadas aquíferas, data da criação do Supercontinente de Gondwana. Sua evolução durante a Era Paleozóica, indica que três seqüências foram depositadas e influenciadas por zonas de fraqueza de direções dominantes NE e NW, freqüentemente reativadas.

Durante a Era Mesozóica (mais conhecida como a época dos grandes dinossauros) foram depositadas duas seqüências: uma sedimentar e outra vulcânica. Elas nos interessam sobretudo, pois originaram o Aquífero Guarani e a unidade hidroestratigráfica confinante, denominada de Serra Geral. As duas seqüências foram influenciadas pela abertura do Oceano Atlântico, originando-se nesta época um terceiro elemento estrutural de direção E – W.

As primeiras interpretações em pequena escala (grandes áreas) do Aquífero Guarani não levaram em consideração sua complexidade estrutural. Isto é devido ao efeito escala que não permite estudos detalhados, e não ao desconhecimento pelos estudiosos da influência dessas estruturas nas camadas aquíferas. Como conseqüência, todas as variáveis analisadas desconsideraram o efeito das descontinuidades estruturais no arcabouço das camadas aquíferas, gerando uma expectativa de homogeneidade impossível de ocorrer. Essa homogeneidade é sugerida quando visualizamos a figura 1, em que está sua localização no MERCOSUL, é óbvio que esta figura em pequena escala possui valor apenas demonstrativo, nos dando idéia de suas dimensões.

No estudo do Aquífero Guarani no estado do Rio Grande do Sul, entretanto, é possível constatar que ele é intensamente influenciado por importantes e extensos sistemas de falhas geológicas. O estudo, em nível estadual, reconhece entre as inúmeras estruturas que afetam o Aquífero Guarani que, pelo menos três grandes sistemas são fundamentais para a compreensão de seu funcionamento hidroestratigráfico, hidráulico e hidroquímico.

As principais estruturas responsáveis pela compartimentação do Aquífero Guarani compõem-se de três grandes sistemas de falhas regionais: Dorsal de Canguçu, Jaguari-Mata e Terra de Areia-Posadas, como pode ser visualizado na figura 2. A partir da localização desses três sistemas de falhas, o Aquífero Guarani foi compartimentado em quatro blocos de maior importância, denominados de: Oeste, Central-Missões, Norte-Alto Uruguai e Leste, de acordo com seu posicionamento geográfico. Cada compartimento estrutural apresentou características muito particulares quanto às condições geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas e isto se refletiu em potencialidades muito diferentes das camadas aquíferas.

SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI NO MERCOSUL



Figura 1. Mapa de localização do Sistema Aquífero Guarani no MERCOSUL.

A noção e a comprovação da existência desses blocos, com características diferenciadas na composição litológica e estruturação, mostram de maneira inequívoca que o Aquífero Guarani é um sistema totalmente descontínuo, conflitante com a afirmação “mar de água doce”, sugerida como afirmado anteriormente pela extensão regional das rochas que compõem suas camadas aquíferas.

CONSTITUIÇÃO COMPLEXA

Estabelecida e delimitada a ocorrência de quatro grandes compartimentos em nível regional, a próxima meta a ser alcançada é a determinação do reflexo que essa compartimentação teve no arcabouço hidroestratigráfico do Aquífero Guarani, ou seja, em que nível esta compartimentação afetou a distribuição das camadas aquíferas. Originalmente o Aquífero Guarani foi definido como um conjunto aquífero de idade Mesozóica, integrado por rochas sedimentares dos períodos Triássico ao Jurássico. Corresponderiam às formações geológicas Botucatu, Pirambóia e Rosário do

Sul. No estado do Rio Grande do Sul, devido à ocorrência das compartimentações citadas acima, surpreendentemente a evolução geológica do Aquífero Guarani mostrou uma maior complexidade quando comparado com o restante do Brasil. Em alguns aspectos, poderíamos dizer que estamos escrevendo sobre um “outro” Aquífero Guarani.

A constituição litológica do Aquífero Guarani corresponde a uma sucessão de camadas areníticas, intercaladas por lentes e camadas silticas e argilosas. As rochas sobre as quais o conjunto aquífero se assenta são do Período Permiano, de origem sedimentar marinha, que gradativamente sofrem processo de continentalização, até alcançar uma fase de desertificação ainda nesta época muito antiga. Posteriormente, durante o Período Triássico houve uma deposição predominantemente fluvial, lacustre e de planície de inundação de rios. Durante o Período Jurássico apenas houve sedimentações em sua última fase. Finalmente, no eocretáceo estabeleceu-se uma sedimentação arenosa eólica na forma de extenso deserto, que cobriu grande parte da área que corresponde ao Aquífero Guarani, assemelhando-se ao que hoje é o deserto do Saara.

Do exposto anteriormente deduz-se a presença de uma constituição extremamente complexa do arcabouço hidroestratigráfico do Aquífero Guarani no estado do Rio Grande do Sul, que compreende pelo menos nove unidades hidroestratigráficas, sendo uma do neopermiano (Pirambóia), seis do triássico (Sanga do Cabral, Passo das Tropas I e II, Alemoa, Caturrita, Arenito Mata), uma do neojurássico (Guará) e uma do eocretáceo (Botucatu). Aqui está ressaltada uma marcante diferença com a ocorrência do Aquífero Guarani no estado de São Paulo, onde somente são encontradas duas unidades hidroestratigráficas: Pirambóia e Botucatu.

Com essas informações se chega a um impasse, pois não estamos em presença de um aquífero e sim de um sistema aquífero Guarani, onde as camadas aquíferas não são unicamente eólicas (arenitos Botucatu) e sim intercalações de várias camadas mais ou menos permeáveis, portanto, com mais ou menos água. Desse modo, quando falamos ou escrevemos “Aquífero Guarani”, na realidade estamos simplificando um conceito de sistema aquífero.

A distribuição dessas unidades hidroestratigráficas é dependente de sua posição e história deposicional. O Compartimento Oeste possui p.ex., afloramentos da unidade hidroestratigráfica Guará, que não são encontrados em outros compartimentos. Algumas camadas aquíferas triássicas também se restringem a determinado compartimento, estando ausente nos demais.

Como se pode constatar, o agora denominado Sistema Aquífero Guarani, ao contrário da crença popular e da divulgação na mídia de que é um grande “mar de água doce”, na realidade é um sistema heterogêneo de camadas sedimentares de várias origens, depositadas em um intervalo de mais de 100 milhões de anos, com porosidades e permeabilidades muito variáveis que vão influenciar em sua potencialidade aquífera.

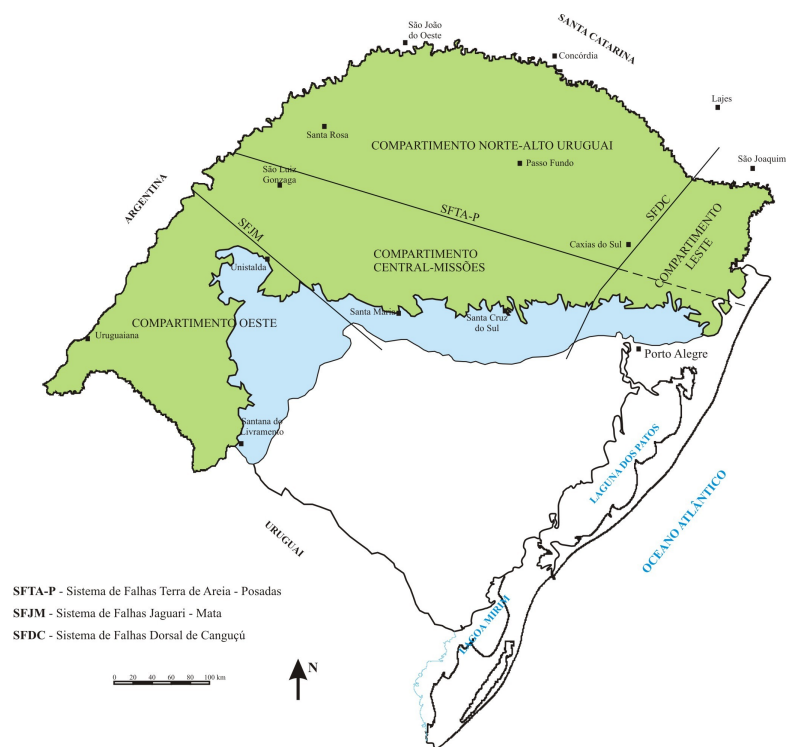


Figura 2. Sistemas de Falhas e Compartimentações do Sistema Aquífero Guarani.

POTENCIALIDADE AQUÍFERA

O Sistema Aquífero Guarani compreende um ambiente geológico heterogêneo, o que torna difícil a compreensão dos fenômenos de fluxo de suas águas na grande área onde ocorre. Desse modo, para possibilitar o seu estudo, o arcabouço hidrogeológico heterogêneo foi estabelecido e em conjunto com a compartimentação espacial, foi possível o delineamento da potencialidade aquífera de cada unidade que compõe o grande sistema aquífero.

A unidade hidroestratigráfica Botucatu, a partir da qual originou-se a idéia de um grande aquífero, mais tarde denominado de Guarani, tem uma ampla distribuição em toda a área de ocorrência do sistema aquífera. É constituída por arenitos finos a médios, rosados e com grandes estratificações cruzadas relacionadas com dunas de ambiente desértico. Os poços perfurados nessa unidade apresentam uma potencialidade muito variável. Nos Compartimentos Oeste e Norte-Alto Uruguai, as excelentes vazões captadas podem localmente ultrapassar a 200 m³/h. Entretanto, essa unidade também pode se apresentar como improdutiva em partes dos compartimentos Oeste, Central-Missões e Leste.

A unidade hidroestratigráfica Guará restringe-se unicamente ao Compartimento Oeste, tendo sido confundida com a unidade hidroestratigráfica Botucatu, apesar das grandes diferenças de

caráter sedimentológico. Compõe-se de arenitos finos a médios, amarelados a esbranquiçados, estratificação planar e por vezes cruzada. É um dos principais aquíferos do Estado e as vazões dos poços podem alcançar até 150 m³/h, sendo que sua área de ocorrência avança em direção ao Uruguai.

As unidades hidroestratigráficas Arenito Mata e Caturrita ocorrem apenas no Compartimento Central-Missões. Suas litologias variam entre arenitos predominantemente finos e siltitos avermelhados, muitas vezes em forma lenticular. Sua disposição geomorfológica e estrutural não permite grande armazenamento de águas. Nos poços são comuns vazões da ordem de 5 m³/h, sendo mais raras vazões superiores.

As unidades hidroestratigráficas Alemoa e Sanga do Cabral também ocorrem apenas no Compartimento Central-Missões. Suas litologias são respectivamente siltitos argilosos avermelhados e arenitos muito finos, argilosos e avermelhados. As duas unidades são praticamente improdutivas e isolam camadas aquíferas.

As unidades hidroestratigráficas Passo das Tropas I e II restringem-se ao Compartimento Central-Missões. Sua composição é de arenitos médios a grosseiros, rosados a avermelhados, com estratificação cruzada acanalada, de origem fluvial. Diferenciam-se pelas menores vazões e melhor qualidade da água na primeira unidade e vazões que podem ser superiores a 100 m³/h na segunda unidade.

A unidade hidroestratigráfica Pirambóia é a porção basal do Sistema Aquífero Guarani, porém no estágio atual do conhecimento considera-se sua ocorrência apenas nos compartimentos Oeste, Central-Missões e Leste. Compõe-se predominantemente de arenitos finos a muito finos avermelhados e siltitos, com estratificações cruzadas de grande porte, relacionadas com dunas de ambiente desértico. De acordo com sua espessura, produz vazões entre 3 e 100 m³/h.

Com essa composição hidroestratigráfica, o Sistema Aquífero Guarani não apresenta homogeneidade com relação à sua potencialidade, com poços secos em camadas quase impermeáveis, que isolam outras camadas aquíferas de boa permeabilidade e poços de ótima vazão.

QUALIDADE E POTABILIDADE DAS ÁGUAS

Além da compartimentação espacial singular, a complexidade da constituição das camadas aquíferas e a notável variação de potencialidade, também é necessária uma definição quanto à qualidade das águas do grande “mar de água doce”.

No Compartimento Oeste, a presença das unidades hidroestratigráficas Botucatu, Guará e Pirambóia em condições estruturais favoráveis, proporcionam uma recarga rápida a partir das chuvas. As águas nas áreas aflorantes são bicarbonatadas cálcicas a mistas, com pH neutro a ácido,

com baixos teores de sais dissolvidos. Nos locais onde as camadas aquíferas encontram-se confinadas por rochas vulcânicas, as águas são bicarbonatadas sódicas, com pH alcalino e teores de sais mais elevados. Em geral, as águas são de boa qualidade e potáveis.

No Compartimento Central-Missões, com a presença de unidades hidroestratigráficas triássicas, mesmo nas áreas de afloramento a qualidade das águas apresenta grandes variações. As águas das camadas mais arenosas podem ser bicarbonatadas alcalinas mesmo a pequena distância das áreas de recarga. A evolução geoquímica é rápida e os teores de cloretos e salinidade total logo ultrapassam os limites de potabilidade. Um dos maiores problemas com relação à qualidade dessas águas é o aparecimento de teores excessivos de fluoretos.

No Compartimento Leste, geralmente os poços possuem pouca profundidade e estão em áreas de afloramento ou próximo dessas. Caracteriza-se pela presença de águas de boa qualidade, com pH ácido a levemente alcalino, e salinidades dentro dos padrões de potabilidade.

No Compartimento Norte-Alto Uruguai, o Sistema Aquífero Guarani encontra-se totalmente coberto pelas rochas vulcânicas da unidade hidroestratigráfica Serra Geral. Devido ao posicionamento estrutural do aquífero, os poços são de grande profundidade (350 a 1.200 metros). Como consequência, suas águas com idades muito antigas não são potáveis em grande parte da área. Além do aumento de salinidade, os teores de fluoretos são excessivos e os teores de sódio podem causar alcalinização do solo. Entretanto, é nesse compartimento que ocorrem as mais importantes manifestações de termalismo, o que confere ao Sistema Aquífero Guarani grande importância econômica, pois suas águas possuem temperaturas compatíveis para o uso em estâncias turísticas termais.

Pelo exposto acima se deduz que, ao contrário do conceito “mar de água doce”, o Sistema Aquífero Guarani não apresenta homogeneidade com relação à sua qualidade, com extensas áreas de águas que ultrapassam os padrões de potabilidade, com maior potencial de uso em estâncias termais.

PARÂMETROS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE AGRONÔMICA DAS ÁGUAS

A definição da qualidade da água utilizada na irrigação é obtida através de vários métodos, alguns com resultados bastante distintos. As autoridades no assunto ainda não chegaram a uma classificação definitiva, que seja um padrão universal, pois as culturas reagem de acordo com muitos fatores e não somente com a química da água para a irrigação. A análise dos parâmetros foi baseada nos autores Logan (1965), Ayers (1977), Bernardo (1978), Canovas (1990) e Teissedre (1997). As culturas e o solo não reagem diretamente com a água de irrigação e sim com a solução do solo resultante da mesma. A água está sujeita a evapotranspiração e a evaporação através do

solo. Geralmente a salinidade do solo aumenta após irrigações sucessivas, porque raras plantas utilizam qualidades substanciais de sais.

Além da salinização do solo, com resultados nefastos para a maioria das culturas, outro fator deve ser levado em consideração: a alcalinização. A sodificação de um solo é extremamente grave, pois o efeito do sódio é intenso sobre a permeabilidade, degradando a estrutura do solo.

Em geral, a qualidade da água usada na irrigação deve ser analisada de acordo com as características básicas seguintes:

- 1) Concentrações totais de sais;
- 2) Proporção relativa do sódio em relação aos outros cátions;
- 3) Concentração de bicarbonatos e carbonatos;
- 4) Concentração de elementos tóxicos;
- 5) Reação sobre os equipamentos de irrigação;
- 6) Aspectos sanitários.

O dados analíticos podem ser índices de primeiro grau, ou então, quando em combinação com vários dados, serem considerados índices de segundo grau para a interpretação da qualidade agronômica das águas de irrigação.

Índices de primeiro grau

pH: Não é um índice muito importante, porém, em águas contaminadas por resíduos industriais pode ser um bom indicativo.

Sólidos totais dissolvidos: O conteúdo de sais é um dos aspectos mais importantes a ser considerado na irrigação. Pode ser muito perigoso acima de 1 g/L. Seu conteúdo pode ser obtido através da análise química, ou então através da medida da condutividade elétrica (C.E.). A condutividade elétrica se expressa através de micromhos/cm referida a uma temperatura de 25 °C.

Na prática, os sólidos totais dissolvidos correspondem a esta relação prática:

$$\text{STD} = \text{C.E.} \times \text{K}$$

Sendo K uma constante de proporcionalidade de valor aproximado de 0,65.

A pressão osmótica, que influencia diretamente na absorção de água pelas plantas, possui também relação com a condutividade elétrica:

$$P_o = 0.36 \times \text{C.E.}$$

Temperatura: É um dos parâmetros menos estudado, entretanto, apresenta interesse, pois a capacidade de dissolução da água depende dela. A água em temperatura ambiente é mais eficaz que aquela aplicada logo após o bombeamento.

Conteúdo de sódio: É um íon responsável por importantes efeitos tóxicos específicos nos cultivos. Além dos efeitos sobre os vegetais, ele degrada a estrutura do solo, alterando a sua permeabilidade.

Conteúdo de cloreto: De todos os íons salinos é um dos mais conhecidos por seus efeitos nos cultivos. Em geral ataca as folhas levando-as a necrose. É um dos principais responsáveis pela salinização dos solos.

Conteúdo de sulfatos: A presença desse íon, além de influenciar na salinização do solo, também afeta conduções de água nas quais houve utilização de cimento na construção.

Conteúdo de boro: O boro encontrado nas águas naturais em concentrações elevadas pode ser tóxico para as plantas. Os suprimentos de água adequados devem conter entre 0,1 e 0,2 mg/L, não sendo aconselhável utilizar águas com teores superiores a 2,5 mg/L.

Índices de segundo grau

Porcentagem de sódio: A porcentagem de sódio foi muito utilizada para definir a qualidade da água. O numerador dessa relação é a concentração do íon sódio em miliequivalentes, e o denominador a soma das concentrações de cálcio, sódio e magnésio em miliequivalentes:

$$\text{Na \%} = \{(\text{Na})/(\text{Ca} + \text{Na} + \text{Mg})\} \times 100$$

Razão de Adsorção de Sódio – SAR: A partir de 1954 gradativamente a % de Na foi substituída por uma unidade mais significativa, denominada de *razão de adsorção de sódio* ou SAR. Ela é definida como a proporção de sódio, em meq/l, dividida pela raiz quadrada de metade da soma de cálcio e magnésio em miliequivalentes:

$$\text{SAR} = \text{Na} / \{(\text{Ca} + \text{Mg})/2\}^{1/2}$$

Carbonato de Sódio Residual – CSR: O índice mede a tendência de precipitação do cálcio e magnésio sob a forma de carbonatos no solo, aumentando assim a concentração de sódio. O CSR é a diferença entre a soma dos íons de carbonato e bicarbonato e a soma dos íons de cálcio e magnésio:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

Se a soma de Ca + Mg é maior do que a soma de CO₃ + HCO₃, o valor de CSR será negativo, nesse caso não se calcula o resultado, anotando-se simplesmente “negativo”.

Atualmente também é utilizada a *razão de adsorção de sódio ajustada*, combinando os conceitos do SAR e CSR.

Dureza: Outro índice que é comum nos estudos de águas subterrâneas se refere ao conteúdo de sais de cálcio e magnésio. Águas muito duras não são recomendadas para solos compactos. Já no caso de reabilitação de solos com excessivo conteúdo de sódio é conveniente o uso de águas duras. O cálculo é feito através da fórmula:

$$\text{Dureza} = \text{mg/L de Ca} \times 2.5 + \text{mg/L de Mg} \times 4,12$$

Classificação das águas para a irrigação:

A classificação deve levar em consideração o efeito da água de irrigação nas plantas e no solo. Desse modo, não existe um esquema de classificação que seja adequado para todas as condições, havendo para tanto vários modelos, desde alguns muito empíricos até outros mais elaborados. Abaixo estão listados alguns dos mais conhecidos:

Classificação de Scofield.

Classificação de Wilcox e Magistad.

Classificação de Thorne e Peterson

Classificação de Doneen

Classificação de Christiansen e Olsen

Classificação de Ayers e Branson

Classificação de H. Greene

Classificação do USS Laboratory

ALGUNS EXEMPLOS RELACIONADOS COM ÁGUAS DO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI NO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA

Os poços escolhidos são nomeados de acordo com os municípios a que pertencem, possuem profundidades superiores a 300 metros e em geral apresentam valores altos de salinidade. Apesar de ser um índice em desuso, a porcentagem de sódio nos dá indicações preliminares sobre a importância do conteúdo deste cátion na água de irrigação. Os valores de porcentagem de sódio calculados são os seguintes:

São João do Oeste (SC) = 76,4 %

Machadinho = 97,9 %

Vicente Dutra (Águas do Prado) = 81,6 %

Três Arroios = 96,2 %

Itá (SC) = 97,9 %

Concórdia (SC) = 98,2 %

Cotiporã = 96,3 %

Piratuba (SC) = 99 %

Os valores altos da porcentagem de sódio indicam que estas águas podem apresentar risco de alcalinização do solo. O conceito de porcentagem de sódio como um critério de adequabilidade foi substituído por uma unidade mais significativa, a razão de adsorção de sódio (SAR):

São João do Oeste (SC) = 17,76

Machadinho = 41,04

Vicente Dutra (Águas do Prado) = 14,20

Três Arroios = 21,22

Itá (SC) = 30,90

Concórdia (SC) = 26,5

Cotiporã = 15,06

Piratuba (SC) = 58,53

Os valores de SAR superiores a 10 indicam que a água pode ser alcalinizante. As águas com valores acima de 18 apresentam alto risco de salinização do solo.

O carbonato de sódio residual (CSR) é uma tentativa de prever a probabilidade de aumento de sódio na solução de solo e foi à base do primeiro sistema de classificação. Os valores encontrados foram os seguintes:

São João do Oeste (SC) = negativo

Machadinho = 11,14

Vicente Dutra (Águas do Prado) = negativo

Três Arroios = 2,33

Itá (SC) = 3,12

Concórdia (SC) = 3,48

Cotiporã = 1,82

Piratuba (SC) = 8,76

Os resultados de CSR indicam que as águas dos poços em São João do Oeste e Vicente Dutra, não formam carbonato de sódio. As águas de Itá, Concórdia, Machadinho e Piratuba não são adequados para irrigação segundo este índice.

Em geral, águas muito duras não são recomendáveis para a irrigação de solos compactos. Os valores de dureza estão determinados abaixo:

São João do Oeste (SC) = 749,37

Machadinho = 18,14

Vicente Dutra (Águas do Prado) = 410,19

Três Arroios = 16,98

Itá (SC) = 14,04

Concórdia (SC) = 5,32

Cotiporã = 12,47

Piratuba (SC) = 6,98

De acordo com os valores de dureza, as águas dos poços de São João do Oeste e Vicente Dutra, apresentam-se muito duras, necessitando precipitação de cálcio.

Classificação das águas

Para efeitos de classificação das águas do SAG com relação à salinização e alcalinização, entre aos vários métodos existentes foi escolhida a classificação do USS Laboratory, pois a além de fazer uma relação bem detalhada entre a razão de adsorção de sódio (SAR) e a salinidade baseada nos valores de condutividade elétrica, trata-se é um método de ampla utilização. Deve se salientar também que esse método é bastante restritivo e, portanto possui um grande coeficiente de segurança, o que não ocorre com outros métodos que são bastante conflitantes (Figura 3).

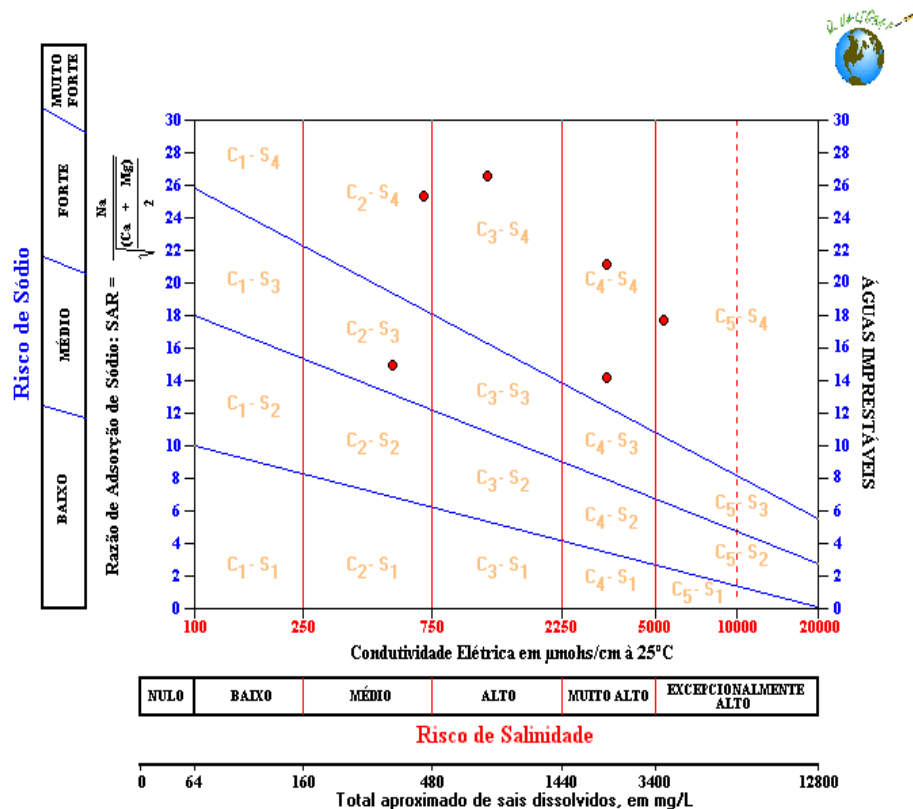


Figura 3 Resultados obtidos para oito amostras de águas do SAG, observando-se que em dois valores o SAR ultrapassou os limites do gráfico (Machadinho e Piratuba).

Do ponto de vista de classificação C (Salinização) e S (Alcalinização), a água do poço de Cotiporã enquadra-se em C2 – S3, o que significa água de salinidade média, que pode ser usada se uma quantidade moderada de lixiviação ocorrer. O conteúdo de sódio é alto, pode causar dano por sódio à maioria dos solos.

As águas restantes apresentam altos conteúdos de sódio, inclusive podendo ultrapassar aos limites do gráfico. Como seus valores de salinidade também são predominantemente altos, elas podem ser classificadas como impréstáveis, não sendo recomendado o seu uso na irrigação.

CONCLUSÕES

O Sistema Aquífero Guarani é um conjunto de camadas aquíferas muito heterogêneas e que não apresenta continuidade espacial, apresentando grande variabilidade com relação à sua potencialidade e qualidade das águas tanto em termos de abastecimento público quanto na irrigação. No caso do estado do Rio Grande do Sul, ele pode ser dividido em pelo menos quatro grandes compartimentos: Central-Missões, Oeste, Leste e Norte-Alto Uruguai.

Com relação à sua utilização em projetos de irrigação, em geral os compartimentos Central-Missões, Oeste e Leste apresentam águas de boa qualidade, porém com exceção do compartimento Oeste, que possui grande potencialidade para altas vazões, os dois compartimentos restantes não são viáveis para grandes projetos de irrigação. O compartimento Norte-Alto Uruguai que compreende a divisa do Rio Grande do Sul com a porção sudoeste de Santa Catarina pode apresentar poços de grande vazão, porém suas águas apresentam pior qualidade e em grande parte são imprestáveis para a irrigação, necessitando extremos cuidados com relação à drenagem, para evitar a alcalinização do solo.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, L. M., FRANÇA, A. B., POTTER, P. E. (1995) Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. UFPR/PETROBRÁS, Curitiba, 16 pp. e anexos.
- ARAÚJO, L. M., FRANÇA, A. B., POTTER, P. E. (1999) Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*, 7(3):317-336.
- AYERS, R. (1977) Quality of Water for Irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, 103(2): 135-154.
- BERNARDO, S. (1978) Qualidade d'água para irrigação. Imprensa Universitária da UFV. Viçosa. 2p. (Boletim de extensão nº 13).
- CANOVAS, J. (1990) Calidad Agronômica de las Águas de Riego. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 51p.
- LOGAN, J (1965) Interpretação de análises químicas de água. U.S. Agency of International Development – Recife.

MACHADO, J. L. F. (2005) Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. UNISINOS. São Leopoldo. 237 p. ilustr.

ROCHA, G. A. (1997) O Grande Manancial do Cone Sul. Estudos Avançados, USP, **30**: 191-212.

TEISSEDRE, J-M. (1997) Água Subterrânea na Irrigação. X Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Anais, ABAS. Campo Grande, p. 5 -19.