

# CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO- SP.

Andresa Oliva<sup>1</sup> & Chang Hung Kiang<sup>2</sup>

**RESUMO** - Este trabalho propõe um estudo hidroquímico dos aquíferos que ocorrem no município de Rio Claro, sejam aqueles amostrados em poços rasos, onde o aquífero é comumente constituído por arenitos da Formação Rio Claro, ou aqueles atravessados por poços mais profundos, onde o aquífero é freqüentemente constituído por arenitos do Subgrupo Itararé.

Os aquíferos siliciclásticos são caracterizados por apresentarem composição bicarbonatada cálcica e magnésiana (Fm. Rio Claro) e bicarbonatada sódica (Subgrupo Itararé). Já os aquíferos carbonáticos (Fm. Irati e Corumbataí) apresentam composição bicarbonatada cálcica.

**ABSTRACT** - *The purpose of this study is to present a hydrochemical characterization of ground waters of the Rio Claro County. Shallow aquifer of Rio Claro Formation as well as those of Itararé Subgroup, occurring at deeper portions, are composed of sandstones, showing calcium-magnesium bicarbonate and sodium bicarbonate water composition, respectively. In the intermediate calcareous units (Irati and Corumbataí formations), ground waters are of calcium bicarbonate type.*

**Palavras-chave:** Hidroquímica, Formação Rio Claro, Subgrupo Itararé

## INTRODUÇÃO

A Bacia do Paraná possui aquíferos de grande importância econômica, como por exemplo, os sistemas aquíferos Guarani (Botucatu e Pirambóia), Bauru e Itararé.

No município de Rio Claro, a exploração de águas subterrâneas tem sido implementada no Subgrupo Itararé que, na região, encontra-se relativamente profundo (de 200 à 500 metros) e se caracteriza por apresentar baixa produtividade. Devido a esses fatores e ao incremento no abastecimento doméstico, industrial e agropecuário na região, existem também, várias indústrias no município de Rio Claro utilizando água subterrânea extraída de arenitos da Formação Rio Claro, que se assenta sobre a Formação Corumbataí, em profundidades inferiores a 18 metros.

---

<sup>1</sup> Curso de Pós Graduação em Geociências- Instituto de Geociências e Ciências Exatas- UNESP. Endereço: Av. 24 A n° 1515- Bairro- Bela Vista Cep. 13506-900 - Rio Claro- SP e-mail: andresaoliva@zipmail.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Geologia Aplicada- Instituto de Geociências e Ciências Exatas- UNESP. Endereço: Av. 24 A n° 1515- Bairro- Bela Vista Cep. 13506-900 - Rio Claro- SP e-mail: chang@rc.unesp.br.

Dessa forma, o conhecimento da composição química dessas águas é imprescindível para o uso adequado desses recursos no município de Rio Claro.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Coleta de Dados Iniciais**

A primeira parte do presente trabalho foi destinada à pesquisa bibliográfica, cuja revisão da literatura existente visou o levantamento de dados de mapeamentos regionais e de detalhe.

Cottas [1], Zaine [2] e Melo [3] compõem as principais referências bibliográficas utilizadas e a fonte original do mapa elaborado.

### **Etapa de Campo e Laboratório**

Nesta etapa, foram coletadas amostras da Formação Rio Claro em vários afloramentos visitados. Essas amostras passaram por uma análise granulométrica (peneiramento), utilizando-se de peneiras com intervalo de 4# a 230#, adotando-se a classificação de Friedman & Sanders [4].

Amostras dos pontos visitados da Formação Rio Claro e amostras de arenitos do Subgrupo Itararé, recuperados durante a perfuração do poço tubular no Campus Bela Vista da Unesp- Rio Claro, foram impregnadas por resina epoxi para posterior confecção de lâminas delgadas e análises petrográficas.

A petrografia teve auxílio da microscopia eletrônica de varredura efetuada no **Environmental Electron Microscope** (ESEM, Eletroscon) e no **Stereoscan 440** (LEO), acoplada a um analisador de energia dispersiva (EDS) e detectores de elétrons secundários e retroespalhados (Backscattered). Essas análises foram efetuadas nos laboratórios do IGCE/UNESP e no CCDM da UFSCAR/UNESP. Através deste conjunto analítico, foi possível identificar e analisar quantitativamente, de forma rápida e segura, os minerais do arcabouço detrítico e diagenéticos.

Com relação às amostras de água, foram coletadas ao todo 26 amostras de poços e 4 de nascentes.

Foram coletados 1,5 litros de água a cada ponto. As amostras foram colhidas em vasilhames de polietileno de 500 ml, que foram preenchidos totalmente de modo a evitar o contato com o ar.

Determinou-se o pH, temperatura e a condutividade no momento da coleta através do aparelho **Hydac**. Os demais parâmetros foram mensurados em laboratório.

Para análise de cátions, as amostras foram filtradas em um conjunto filtrante *milipore*, utilizando filtros de 0,45µm e, logo em seguida, acidificadas com ácido nítrico concentrado, com 2 ou 3 gotas para cada 100 ml de amostra.

Os cátions foram analisados pelos métodos de espectrometria de absorção atômica (Na, K), e espectrometria de indução em plasma (Ca, Fe, Mg, Mn, Sr, Ba, Cu, Zn, Pb, Si, Al). Ambos métodos foram efetuados no IGCE/UNESP, nos equipamentos CBC/906 e ARL/3410, respectivamente.

A determinação da alcalinidade foi realizada pelo método de titulação potenciométrica, utilizando-se do titulador automático modelo 960 da ORION. O método consiste na titulação de uma amostra de água. O titulante (no caso HCl com concentração de 0,007859M) é adicionado até atingir o ponto de equivalência, determinado pela inflexão da curva de titulação. A curva de titulação é feita com o volume do titulante adicionado e a medida de pH em cada etapa. O ponto de equivalência representa o ponto em que números iguais de equivalentes do ácido e da base foram misturados (Russel, 1982; *in* Vidal, [5]).

A técnica de primeira derivada, utilizada na titulação pelo aparelho, assume que a taxa de variação de potencial com o volume do titulante adicionado será máximo no ponto de inflexão.

### **Processamento dos Dados**

As concentrações, em meq/L, foram calculadas para todos os íons, para posterior confecção de diagramas hidroquímicos, *PIPER* e *STIFF*, que foram construídos através do programa *GWW - Groundwater Software for Windows*.

## **ASPECTOS GEOGRÁFICOS**

### **Localização da Área de Estudo**

O município de Rio Claro localiza-se no centro do Estado de São Paulo na Depressão Paleozóica (unidade representada por uma área rebaixada com altitudes de 500 a 700 metros).

É circundado, num raio aproximadamente de 30 km, pelos municípios de Corumbataí e Leme, a norte, Piracicaba e Iracemápolis, a sul, Araras e Santa Gertrudes, a leste, Ipeúna e Itirapina, a oeste. Possui como distritos: Assistência e Ajapi e, como bairros rurais, Batovi e Ferraz (figura 1).

O município de Rio Claro pertence a Região Administrativa de Campinas, porém constitui, juntamente com os municípios de Corumbataí, Itirapina, Brotas, Ipeúna e Santa Gertrudes, uma subregião (Troppmair, [6]).

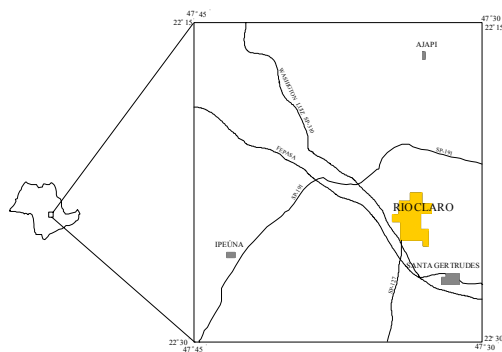


Figura 1: Mapa de localização do Município de Rio Claro.

## Hidrografia

A região é drenada por rios pertencentes às Bacias hidrográficas do Piracicaba e do Corumbataí. A Bacia do Rio Piracicaba abrange uma área de 12.400 km<sup>2</sup>, sendo 11.020 Km<sup>2</sup> no Estado de São Paulo. É formado pelas sub-bacias dos rios Corumbataí, Jaguari e Atibaia. A Bacia do Rio Corumbataí possui uma área de aproximadamente 1.500 Km<sup>2</sup>, servida por alguns afluentes e subafluentes: Ribeirão Claro, Passa Cinco, Cachoeirinha, Lavapés, Servidão, Ribeirão do Meio e Cabeça. Suas cabeceiras localizam-se nas escarpas das serras e morrotes que compõem a linha de cuestas e suas águas somam-se e afluem para o Rio Piracicaba (DAEE, [7]).

## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo localiza-se, geologicamente, no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (Subgrupo Itararé; formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formação Rio Claro e depósitos recentes).

### Subgrupo Itararé

Encontram-se no Subgrupo Itararé vários tipos de rochas sedimentares, como ritmitos, arenitos de várias granulometrias, em lentes e camadas (caracterizam os aquíferos subterrâneos, alvos de poços profundos para água nessa região), conglomerados, siltitos, argilitos e diamictitos.

Os diamictitos, englobando lamitos arenosos levemente conglomeráticos e arenitos lamíticos conglomeráticos intercalados com arenitos e sedimentos finos além de conglomerados, ocorrem na parte inferior do Subgrupo. Já os arenitos, de cor cinza a cinza acastanhado, com granulometria variável, ocorrem nas partes inferior e superior do Subgrupo. Os sedimentos finos, incluindo siltitos, lamitos e argilitos, ocorrem predominantemente nas porções média e superior (Wu, [8]).

As estruturas singenéticas que ocorrem nestes litotipos são representadas por: marcas onduladas, marcas de sola (moldes e tuboglifos), estratificação cruzada de porte e tipo variado, estratificação gradacional e estruturas deformacionais plásticas contemporâneas à deposição.

A origem dos sedimentos do Subgrupo Itararé está associada a ambientes: flúvio-glacial, fluvial, marinho raso e leques aluviais (Landim *et al.*, [9]). Sua espessura na região varia de 600 a 1.200 metros (DAEE, [7]).

Esta unidade assenta-se discordantemente sobre o embasamento cristalino pré- Cambriano e sobre a Formação Furnas. Seu contato superior com a Formação Tatuí é discordante, localmente transicional.

### **Formação Aquidauana**

A Formação Aquidauana inclui depósitos continentais, predominantemente arenitos vermelho-arroxeados, caracterizados em sua porção inferior, pela predominância de arenitos médio a grossos, com estratificação cruzada acanalada e, secundariamente, diamictitos, clástico finos e presença de um delgado conglomerado basal (Melo, [3]).

A porção média é constituída por grande quantidade de siltitos, folhelhos e arenitos finos, finamente estratificados. Na porção inferior da formação predominam, novamente, os sedimentos arenosos (Caetano, [10]).

Segundo Cottas [1], a Formação Aquidauana na borda NE da Bacia do Paraná, é representada por dois membros distintos:

- 1.Membro Rio Capetinga, caracterizado por arenitos com intercalações de lamitos, cuja origem estaria ligada à progradação de leques aluviais em lagos periglaciais e;
- 2.Membro Rio Tambaú, representado por lamitos com raros corpos arenosos, cuja origem estaria ligada à deposições lacustres.

Os sedimentos da Formação Aquidauana, na região, possuem espessura máxima de 90 metros (DAEE, [7]).

As relações de contato entre o Subgrupo Itararé e a Formação Aquidauana, embora pouco conhecidas, são consideradas como interdigitadas (Soares e Landim, 1973; *in* Caetano, [10]).

### **Formação Tatuí**

A Formação Tatuí é constituída por siltitos creme a esverdeados, com freqüentes bioturbações, arenitos finos e camadas conglomeráticas, com seixos de silexitos, cuja presença tem levado vários autores a interpretá-los como uma possível discordância. Os siltitos apresentam-se finamente laminado, exibindo, por vezes, laminação cruzada. Já os siltitos arenosos apresentam níveis argilosos e laminação plano-paralela (Cottas, [1]).

Segundo Gimenez [11], a deposição destes sedimentos está associada à ambiente costeiro e de mar raso, como barras litorâneas e plataformais, em sistemas flúvio-deltáicos e, localmente, em cunhas clásticas do tipo fan deltas.

A espessura da Formação Tatuí varia em torno de 70 metros (DAEE, [7]).

A relação de contato entre as unidades Tatuí e Itararé corresponde a uma discordância generalizada, caracterizada pela presença de superfície de erosão, marcada por um conglomerado basal (Gimenez, [11]).

### **Formação Irati**

A Formação Irati foi subdividida por Barbosa e Gomes (1958; *in* Hachiro, [12]) em dois membros: o Taquaral, inferior, e o Assistência, superior.

Segundo Hachiro [12], o Membro Taquaral consiste principalmente de folhelhos siltosos cinza escuro. Esses folhelhos, por vezes são físeis ou apresentam laminação paralela como única estrutura sedimentar. Já o Membro Assistência compreende a seção de folhelhos cinza escuros e folhelhos pretos pirobetuminosos, associados a carbonatos.

A principal estrutura sedimentar encontrada nos leitos pirobetuminosos é a laminação plano-paralela e, nos leitos carbonáticos, observam-se marcas onduladas, laminação cruzada, brechas intraformacionais, estruturas do tipo *tepee*, estilólitos e laminação plano-paralela.

Quanto ao ambiente deposicional, os sedimentos da Formação Irati mostram maiores evidências de deposição em mares rasos.

A Formação Irati apresenta na região espessura constante, em torno de 40 metros, sendo 30 metros do Membro Assistência e 10 metros do Taquaral (Andrade e Soares, [13]).

As relações de contato inferior da Formação Irati (Membro Taquaral) com a Formação Tatuí é, em geral, concordante no interior da bacia. E o contato entre os membros Taquaral e Assistência é concordante, marcado pelo aparecimento de folhelhos betuminosos (Hachiro, [12]).

### **Formação Corumbataí**

Trata-se de uma unidade constituída por arenitos muito finos, siltitos, lamitos, folhelhos, nas cores cinza, creme, verde claro ou lilás, com níveis de calcários oolíticos e ocasionais leitos de calcários silicificados (Cottas, [1]).

As estruturas mais freqüentes são representadas por laminações plano-paralelas, microestratificações, *flaser*, diques clásticos, gretas de ressecamento, laminação cruzada, marcas onduladas, estruturas estromatolíticas associadas com calcários oolíticos e laminação cruzada descontínua (Soares, 1972; *in* Cottas, [1]).

A Formação Corumbataí foi depositada em ambiente marinho raso. Sua espessura na região oscila em torno de 60 a 180 metros (Andrade e Soares- *op.cit.*; *in* Cottas, [1]).

A relação de contato da Formação Corumbataí com a Formação Irati corresponde a um contato gradacional, e em discordância erosiva sob a Formação Pirambóia (Souza, [14]).

## **Formação Pirambóia**

Esta unidade é constituída por um membro basal mais argiloso, composto por arenitos intercalados por freqüentes camadas de argilito, folhelhos arenosos e sílticos, apresentando predominantemente estratificações plano-paralelas de pequeno porte, e por um membro superior, composto por bancos de arenitos pouco argilosos, com estratificações cruzadas planares tangenciais, de pequeno e médio portes (Schneider *et al.*, [15]).

Com relação ao ambiente deposicional, a Formação Pirambóia foi depositada em ambiente desértico, onde dominou o sistema eólico. O sistema fluvial, cujas fácies permeiam a unidade em toda sua extensão, é subordinado. Um sistema marginal de leques aluviais ocorre próximo ao topo da unidade (Caetano-Chang, [16]).

A espessura da Formação Pirambóia é variável, chegando a atingir 270 metros (Caetano-Chang, [16]).

O contato inferior com a Formação Corumbataí é marcado por discordância. O contato superior com a Formação Botucatu é considerado pela maioria dos autores como concordante (Schneider *et al.*, [15]).

## **Formação Botucatu**

A Formação Botucatu é constituída por arenitos avermelhados, finos a médios, exibindo estratificações cruzadas de grande e médio portes, em grande parte silicificados. Estes arenitos foram interpretados como monótonas sucessões de depósitos de dunas eólicas, em ambiente desértico, com contribuição, na parte basal, de sedimentação fluvial (Schneider *et al.*, [15]).

A espessura média da Formação Botucatu é de 60 metros (Caetano-Chang, [16]).

O contato com a Formação Pirambóia é concordante e, com a Formação Serra Geral é discordante (Schneider *et al.*, [15]).

## **Formação Serra Geral**

A Formação Serra Geral é resultado de intenso vulcanismo de fissura, iniciado quando ainda existiam as condições desérticas de sedimentação da Formação Botucatu. Este fato é atestado pela presença de inúmeros corpos arenosos de origem eólica na parte basal da formação (Schneider *et al.*, [15]).

Esta formação é constituída, por derrames basálticos, predominantemente toleíticos, com variações na composição química. Ocorrem principalmente na província geomorfológica das Cuestas Basálticas (serras do Itaqueri, São Pedro e platô de São Carlos) (Melo, [3]).

A maior espessura observada dessa formação foi de 1529 metros.

O contato inferior com os arenitos da Formação Botucatu é discordante e com as unidades mais antigas marca-se por discordância erosiva (Schneider *et al.*, [15]).

### **Depósitos Cenozóicos**

As coberturas de idade cenozóica podem ser classificadas em dois grupos:

1º Grupo- fazem parte os depósitos terciários parcialmente consolidados e localmente silicificados que capeiam os basaltos sobre as serras de Itaqueri e São Pedro (Cottas e Barcelos,1981; *in* Cottas, [1]).

2º Grupo- formado pelos depósitos de baixas altitudes, posteriores à implantação da Depressão Periférica, assentados sobre as rochas do Grupo Passa Dois e Tubarão.

Esses depósitos, segundo Bjorberg e Landim [17], foram denominados de Formação Rio Claro.

### **Formação Rio Claro**

Os depósitos neocenozóicos constituem, no estado de São Paulo, extensas áreas de ocorrências.

Esses depósitos correspondem a níveis escalonados na paisagem, vinculados à fases de aplainamento. Suas espessuras em geral são pequenas, não ultrapassam a 30 metros de espessura (Freitas *et al.*, [18]).

Identificam-se três níveis topográficos principais capeados por sedimentos neocenozóicos na área da Depressão Periférica e Cuestas Basálticas próximo a Rio Claro (Bjornberg & Landim ,[17]):

- o mais alto, entre 900 e 1000 metros, situa-se no município de São Carlos;
- o intermediário, entre 800 e 900 metros, corresponde à Serra de Santana e à área da cidade de Itirapina;
- o inferior, entre 600 e 800 metros, sobre o qual se encontra a cidade de Rio Claro.

Dessa forma, foi proposto, para os sedimentos neocenozóicos situados no patamar inferior, com espessura máxima de 30 metros, a denominação de Formação Rio Claro.

Os depósitos sedimentares atribuídos a esta unidade ocorrem mais extensamente no platô do município de Rio Claro e de, forma mais descontínua, nas proximidades do limite leste da Depressão Periférica, junto ao Planalto Atlântico (Almeida & Barbosa, [19]).

Fúlfaro & Suguio [20], identificaram na Formação Rio Claro duas seqüências principais.

A basal, com 20 metros de espessura máxima, apresenta sucessão de estratos arenosos com intercalações subordinadas de leitos argilosos. Foi interpretada como sendo depósitos de paleocanal fluvial.



A superior, constituída predominantemente por sedimentos argilosos, com brechas intraformacionais e lentes arenosas subordinadas, foi interpretada como depósitos de acreção vertical, em planície de inundação.

Com base nos tipos de sedimento e estruturas sedimentares presentes, Fúlfaro & Suguio [20] interpretaram que a sedimentação se deu ao longo de um paleocanal fluvial, correspondente a um pretérito Rio Corumbataí, barrado a jusante pela reativação das falhas da área de estrutura de Pitanga.

Segundo Penteadó [21], a acumulação da Formação Rio Claro seria o resultado de fatores climáticos e tectônicos.

Vários autores admitem causas tectônicas para sedimentação, sejam basculamentos regionais (Soares & Landim, 1976; *in* Melo *et al.*, [22]), seja tectônica rúptil, com formação de falhas e geração de barramentos da drenagem ou depressões (Fúlfaro & Suguio, [20]; Freitas *et al.*, [18]; Zaine, [2]). Essas falhas possuem movimento vertical na área da estrutura de Pitanga, onde as principais são aquelas delimitadas pelos rios Passa Cinco (direção NW- SE) e Corumbataí (direção NE- SW).

Já segundo Bjornberg e Landim [17], a deposição da Formação Rio Claro se deve somente a fatores climáticos. Assim, a seqüência de depósitos e degraus morfológicos indicam ciclos de erosão e deposição. A sedimentação ocorreria em épocas climáticas semi-áridas em que o escoamento planar das águas fortemente carregadas por detritos, devido a ampla desagregação mecânica, geraria depósitos mal selecionados. Nesta fase, a erosão acarretaria no aparecimento de grandes superfícies aplainadas.

E as fases mais úmidas teriam permitido o aprofundamento da drenagem, resultando além de patamares escalonados, inconformidades na sedimentação.

As origens da Formação Rio Claro como abordadas acima, ainda são corroboradas e complementadas por fatos vinculados à formação da Depressão Periférica pela existência de depressões escavadas pelos rios Paranapanema, Tietê, Piracicaba, Mogi- Guaçu, Pardo e seus afluentes. Os vales desses rios em seu rebaixamento encontraram barreiras de difícil transposição no início da acumulação de pacotes basálticos, o entalhe só foi possível onde a espessura das efusivas já havia sido significativamente reduzida pela erosão eo-cretácica.

Com relação a litofácies, a Formação Rio Claro possui quatro litofácies principais (Melo *et al.*, [22]):

- Lamitos de processos gravitacionais (ocorre principalmente próximo aos relevos mais acidentados do limite leste da Depressão Periférica, junto ao Planalto Atlântico).
- Cascalhos e areias de canais e barras fluviais.
- Areias finas de rompimento de diques marginais.

- Argilas de transbordamento em planícies de inundação.

Além dessas quatro litofácies principais, a Formação Rio Claro apresenta um horizonte delgado de conglomerados basal, cuja constituição reflete a contribuição das rochas sedimentares do substrato.

Essas litofácies reconhecidas na Formação Rio Claro indicam sedimentação em ambiente fluvial meandrante, no qual se admite baixos gradientes e clima úmido.

Quanto às relações estratigráficas, a Formação Rio Claro aparece principalmente sobreposta à Formação Corumbataí. Na borda leste da Depressão Periférica, os sedimentos estão sobrepostos ao Subgrupo Itararé e Formação Aquidauana e, em Vargem Grande do Sul, aparece diretamente sobre o embasamento pré-cambriano (Melo, [3]).

Os dados obtidos da descrição de amostras de afloramentos e análise granulométrica, indicam que os arenitos da Formação Rio Claro possuem uma granulometria que varia de areia fina à média. Alguns desses arenitos apresentam alto teor de argilas, e outros conglomeráticos, confirmando que a sedimentação se deu através de ambiente fluvial meandrante. No qual os níveis mais argilosos correspondem a planícies de inundação e os níveis conglomeráticos aos canais.

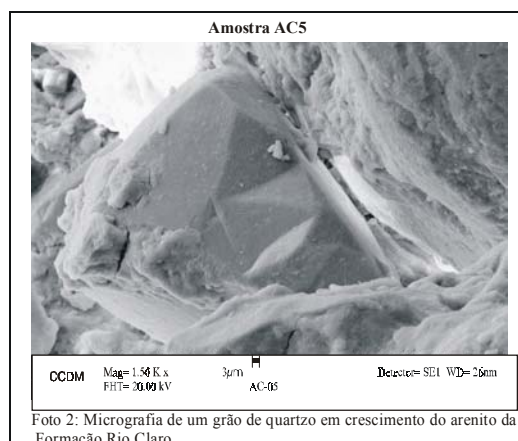
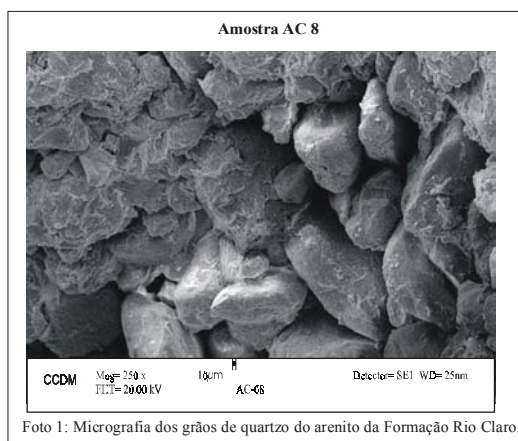
## CLASSIFICAÇÃO PETROGRÁFICA- AQÜÍFERO RIO CLARO E AQÜÍFERO ITARARÉ

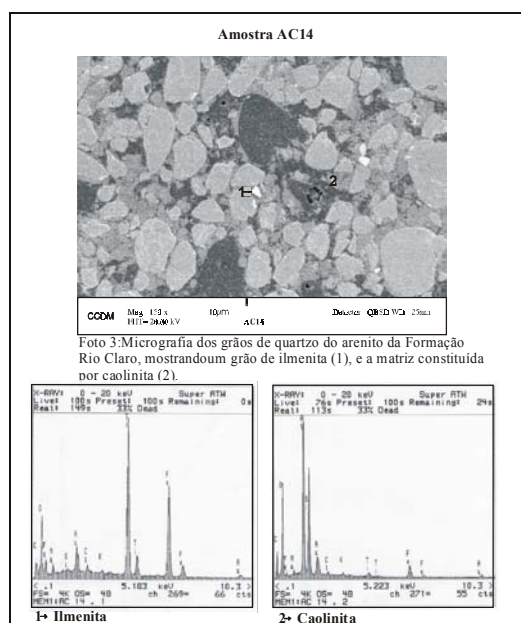
Nas descrições de lâminas delgadas, o principal constituinte detrítico do arcabouço dos arenitos da Formação Rio Claro, que constituem o aquífero Rio Claro, é quartzo (foto 1).

A maioria dos grãos de quartzo possuem extinção ondulante, forma achatada, e variam de arredondados a sub arredondados. Contato entre grãos pontual e raramente reto. E em alguns casos observa-se crescimento de quartzo (foto 2) e inclusões de biotita.

A matriz é constituída por cutículas de argila e de preenchimento de poros por caolinita que envolvem os cristais de quartzo, e o mineral acessório presente é a ilmenita (foto 3).

Os fragmentos líticos não estão bem definidos, confundindo-se com a matriz de infiltração (caolinita) e feldspatos bastante alterados.





Segundo o esquema de classificação proposto por Folk (1968; *in* Gimenez, [11]), considerando quartzo, feldspato e fragmentos líticos, os arenitos da Formação Rio Claro são classificados como **quartzo arenito**, mas devido a grande quantidade de matriz podem ser classificados como **quartzo arenito imaturo** (tabela 1- figura 2).

Tabela 1- Dados das análises modais das amostras da Formação Rio Claro.

Amostra	Quartzo	Feldspato	Matriz	Nome da Rocha
AC1	74,21%	nd	25,78	quartzo- arenito imaturo
AC2	71,3%	nd	28,63	quartzo- arenito imaturo
AC3	68,39%	nd	31,6	quartzo- arenito imaturo
AC4	72,42%	nd	27,5	quartzo- arenito imaturo
AC5	76,59%	nd	23,40	quartzo- arenito imaturo
AC6	85,27%	nd	14,72	quartzo- arenito imaturo
AC7	64,07%	nd	35,92	quartzo- arenito imaturo
AC8	64,76%	nd	35,23	quartzo- arenito imaturo
AC9	78,85%	nd	25,14	quartzo- arenito imaturo
AC10	73,46%	nd	26,53	quartzo- arenito imaturo
AC11	76,86%	nd	23,13	quartzo- arenito imaturo
AC12	78,58%	nd	21,41	quartzo- arenito imaturo
AC13	78,92%	nd	21,07	quartzo- arenito imaturo
AC14	76,15%	nd	28,84	quartzo- arenito imaturo

Os quartzo- arenitos são caracterizados por alta porcentagem de quartzo (70% a 80%), pequena quantidade de feldspato, neste caso não aparecem feldspatos, e fragmentos líticos com proporções variando de 0 a 20%.

Quanto a porosidade, é classificada como intergranular e varia de 6% a 25%.

Também segundo a classificação de Folk, os arenitos do Subgrupo Itararé são classificados como **subarcóseos** (tabela 2-figura 2).

Tabela 2- Dados das análises modais das amostras do Subgrupo Itararé.

Amostra	Quartzo	Feldspato	Plagioclásio	Fragmentos Líticos	Nome da Rocha
AC 18	82,15	14,16%	9,9%	3,6%	Subarcóseo
AC 20	76,9%	17,75%	8,87%	5,3%	Subarcóseo

Os subarcóseos apresentam alta porcentagem de quartzo (média de 85%), quantidade moderada de feldspato e pequena quantidade de líticos.

São constituídos por grãos de quartzo, feldspato, plagioclásio e mica, de granulometria fina a média, com seleção boa e arredondamento variando de subarredondado a arredondado. A matriz é argilosa, porém com baixos teores, representada por esmectita. Os feldspatos são formados por microclíneo e plagioclásio (albita) (fotos 4 e 5). A porosidade varia de 14% a 17%.

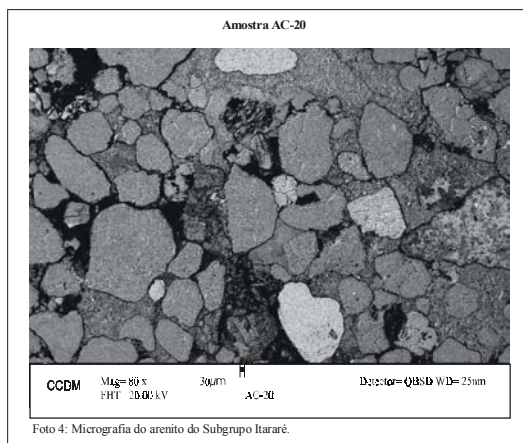


Foto 4: Micrografia do arenito do Subgrupo Itararé.

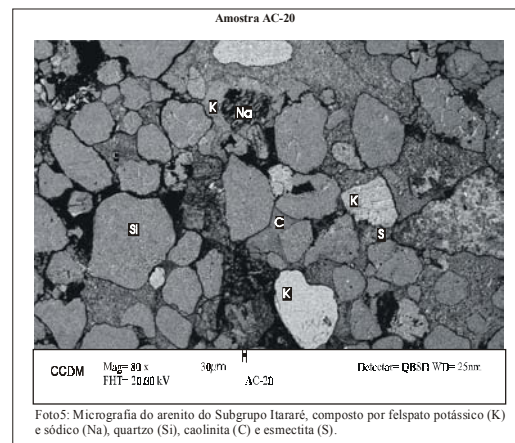


Foto 5: Micrografia do arenito do Subgrupo Itararé, composto por feldspato potássico (K) e sódico (Na), quartzo (Si), caulinita (C) e esmectita (S).



Figura 2: Composição dos arenitos da Formação Rio Claro e do Subgrupo Itararé.

## DETERMINAÇÃO DOS TIPOS HIDROQUÍMICOS

As amostras coletadas em poços e nascentes pertencentes a Formação Rio Claro, e as coletadas em poços mais profundos pertencentes ao Subgrupo Itararé, passaram por análises físico químicas, cujos resultados estão disponíveis na tabela 3. Já a distribuição das amostras coletadas para análise físico química pode ser observada no mapa geológico (figura 3). As amostras 27, 28, e 29, estão junto à cidade de Ipeúna, a oeste da área.

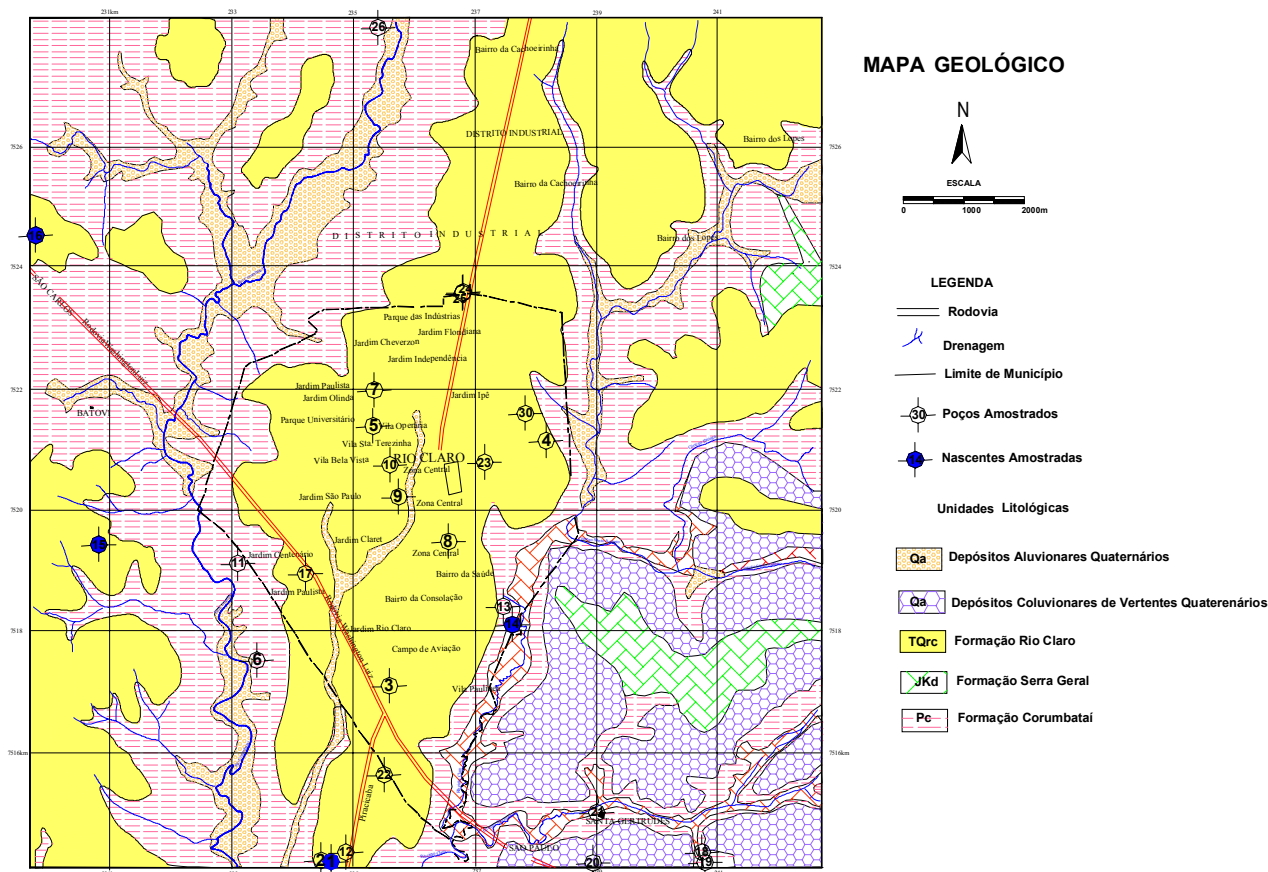


Figura 3: Distribuição das amostras coletadas para análises físico-químicas.

Tabela 3: Análises físico-químicas selecionadas para classificar as águas quanto ao tipo hidroquímico.

No. Amostra	Coord. NS	Coord. EO	Prof. (m)	Temp. Local	Cond. Local	pH , Local	pH , Lab.	Alcalin.	Na , ppm	K , ppm
Limite ppm								2.0	0.02	0.02
1	7514,17	234,8	Nascente	24.6	0.84	7.0	6.43	40.13	6.05	1.80
2	7514,16	234,56	198.5	26.4	5.14	10.00	9.71	252.5	124.15	0.38
3	7517,14	235,64	275	30.6	4.63	9.00	9.98	260	114.66	0.33
4	7521,16	238,21	12	20.6	1.9	6.0	5.68	8.73	19.24	5.87
5	7521,4	235,37	242	24.38	1.24	8.0	7.81	76.4	21.24	1.30
6	7517,56	233,46	240	19.7	3.6	9.98	9.58	281.1	85.33	0.74
7	7521,99	235,39	240	25.6	9.23	9.70	9.15	352.9	237.36	0.66
8	7519,51	236,61	188	27.8	1.65	8.02	7.7	104.15	30.91	2.46
9	7520,24	235,79	246	26.1	1.9	7.15	6.84	50.18	22.00	3.62
10	7520,76	235,65	25	21.3	3.14	4.15	3.97	<2.0	34.00	9.72
11	7519,15	233,15	14	20.55	0.75	6.8	6.35	47.51	2.76	1.08
12	7514,41	234,92	230-240	23.27	4.68	10.20	9.84	264.7	119.19	0.44
13	7518,44	237,51	280	26.9	6.11	9.80	9.34	301.6	143.31	0.43
14	7518,1	237,73	Nascente	25.94	2.9	5.1	4.97	<2.0	40.15	2.49
15	7519,46	230,85	Nascente	26.44	0.1	5.20	4.68	<2.0	0.49	0.29
16	7524,41	229,82	Nascente	25.7	0.27	5.15	4.46	<2.0	0.78	1.58
17	7518,98	234,26	80-90	21.38	0.8	7.03	6.42	50	9.04	1.64
18	7514,41	240,77	147	23.6	3.96	9.84	9.13	215	97.06	0.32
19	7514,2	240,8	216	25.1	4.46	9.87	6.19	201.05	105.33	0.36
20	7514,11	238,98	300	26.7	4.6	9.98	9.54	226.25	114.63	0.32
21	7515,06	239,04	278	25.1	4.67	9.82	9.46	227.1	118.06	0.34
22	7515,68	235,55	240	25.3	0.77	7.02	6.81	51.93	10.82	2.49
23	7520,81	237,2	370	31.3	26.9	9.02	8.59	258.15	635.69	2.12
24	7523,6	236,85	254	29.1	5.24	9.94	9.21	374.65	145.49	0.39
25	7523,58	236,84	60	29.6	0.15	5.47	4.25	<2.0	1.92	0.17
26	7527,95	235,45	51	28.5	5.45	7.68	7.58	422.35	118.19	1.14
27	7516,23	219,78	35	26.7	1.75	7.50	7.32	138.4	7.35	2.30
28	7516,23	219,78	40	26.9	2.24	7.63	7.40	107.5	4.29	1.88
29	7516,04	220,892	203	27.5	2.3	8.84	8.10	166	17.32	1.26
30	7521,61	237,87	510	25.1	3.71	8	8.05	164.85	76.90	1.15

Tabela 3: Análises físico-químicas selecionadas para classificar as águas quanto ao tipo hidroquímico (cont.).

No. Amostra	Mg , ppm	Ca , ppm	Sr , ppm	Ba , ppm	Al , ppm	Fe , ppm	Cl , ppm	F , ppm	NO3 , ppm	SO4 , ppm	Aqüífero
Limite ppm	0.50	1.00	0.01	0.05	0.05	0.01	1.0	0.2	0.20	1.00	
1	3.80	5.95	0.03	<0.05	0.07	0.57	7.09	<0.2	0.92	<1.00	Fm. Rio Claro
2	<0.50	<1.00	0.01	<0.05	<0.05	0.04	4.33	1.3	1.05	41.49	Subgrupo Itararé
3	<0.50	<1.00	0.02	<0.05	<0.05	<0.01	3.40	1.1	<0.20	24.70	Subgrupo Itararé
4	3.09	6.82	0.06	0.25	0.29	0.02	17.05	<0.2	56.01	<1.00	Fm. Rio Claro
5	1.04	5.73	0.15	<0.05	<0.05	<0.01	1.10	0.2	<0.20	<1.00	Subgrupo Itararé
6	0.50	5.25	0.03	<0.05	<0.05	<0.01	10.36	1.2	37.43	20.33	Subgrupo Itararé
7	<0.50	1.20	0.04	<0.05	<0.05	<0.01	62.65	8.5	<0.20	101.80	Subgrupo Itararé
8	1.39	5.77	0.15	<0.05	<0.05	<0.01	1.34	0.2	2.01	<1.00	Subgrupo Itararé
9	4.15	8.05	0.19	0.09	<0.05	<0.01	10.43	<0.2	38.53	<1.00	Subgrupo Itararé
10	3.12	5.14	0.02	0.09	0.44	0.01	22.53	<0.2	107.21	<1.00	Fm. Rio Claro
11	3.37	7.23	0.04	0.06	<0.05	<0.01	<1.00	<0.20	3.21	<1.00	Fm. Rio Claro
12	<0.50	<1.00	0.01	<0.05	<0.05	<0.01	2.29	1.23	<0.20	36.64	Subgrupo Itararé
13	<0.50	<1.00	0.02	0.16	<0.05	0.12	14.53	2.23	<0.20	32.42	Subgrupo Itararé
14	2.89	5.32	0.06	0.13	1.19	0.03	21.20	0.33	29.05	60.82	Fm. Rio Claro
15	<0.50	<1.00	<0.01	0.34	<0.05	<0.01	<1.00	<0.20	0.90	<1.00	Fm. Rio Claro
16	<0.50	<1.00	0.01	<0.05	0.08	<0.01	1.75	<0.20	6.56	<1.00	Fm. Rio Claro
17	2.09	4.34	0.09	<0.05	<0.05	0.01	1.56	<0.20	1.00	<1.00	Subgrupo Itararé
18	<0.50	<1.00	0.02	<0.05	<0.05	<0.01	2.81	0.82	<0.20	26.71	Subgrupo Itararé
19	<0.50	1.03	0.03	<0.05	<0.05	<0.01	5.47	1.43	<0.20	45.19	Subgrupo Itararé
20	<0.50	<1.00	0.03	<0.05	<0.05	<0.01	3.42	1.48	<0.20	48.88	Subgrupo Itararé
21	<0.50	<1.00	0.02	<0.05	<0.05	<0.01	4.43	1.63	<0.20	50.23	Subgrupo Itararé
22	2.20	2.36	0.06	<0.05	<0.05	0.07	<1.00	0.30	0.34	<1.00	Subgrupo Itararé
23	1.10	6.08	0.37	<0.05	<0.05	0.02	470.33	7.03	<0.20	330.38	Subgrupo Itararé
24	<0.50	<1.00	0.02	<0.05	<0.05	0.01	1.40	2.90	<0.20	<1.00	Subgrupo Itararé
25	<0.50	<1.00	<0.01	<0.05	<0.05	0.03	1.22	<0.20	1.63	<1.00	Fm. Rio Claro
26	5.23	24.10	0.52	0.21	<0.05	<0.01	1.77	0.24	<0.20	<1.00	Fm. Corumbataí
27	4.15	30.45	0.10	0.17	<0.05	0.64	4.46	<0.20	9.75	<1.00	Fm. Corumbataí
28	4.44	23.66	0.07	<0.05	<0.05	<0.01	3.21	<0.20	6.71	<1.00	Fm. Corumbataí
29	4.12	28.64	0.24	0.21	<0.05	0.01	<1.00	<0.20	<0.20	2.09	Subgrupo Itararé
30	3.00	9.08	0.04	<0.05	<0.05	<0.01	29.30	2.87	<0.20	18.61	Subgrupo Itararé

A determinação dos tipos hidroquímicos foi realizada por meio de diagramas. No presente trabalho optou-se pelo Diagrama de *Piper*, que determinou a classificação da água quanto aos teores de cátions e ânions e Diagrama de *Stiff*.

O diagrama de *Piper* combina três campos: dois triangulares e um romboidal. Os triangulares se posicionam nas partes inferiores, à direita e à esquerda. No triângulo da esquerda, estão os três principais grupos catiônicos, e no triângulo da direita, os três principais grupos aniônicos. Os resultados das análises são plotados com base na porcentagem de cada cátion (ou ânion).

O campo romboidal entre os dois triângulos é utilizado para representar a composição da água com relação aos cátions e ânions. Este ponto é obtido projetando-se o ponto do cátion paralelo à linha identificada com Mg, e projetando-se, o ponto do ânion paralelamente à linha do SO<sub>4</sub>. A interseção das duas linhas originará um único ponto no campo romboidal.

Já o diagrama de *Stiff* é constituído de um polígono criado à partir de quatro eixos horizontais, cortados por um eixo vertical zero.

Os cátions são plotados ao lado esquerdo do eixo zero e os ânions ao lado direito. São plotados em miliequivalentes por litro. Sendo assim, o diagrama de *Stiff* é muito útil na comparação rápida entre os diferentes tipos de águas.

Esses diagramas foram obtidos através de um software **GW** (Groundwater Software for Windows).

Com base nos diagramas de *Piper* e *Stiff*, construídos através das análises físico-químicas selecionadas para classificar as águas (tabela 3), os tipos hidroquímicos podem ser descritos como:

### **Subgrupo Itararé**

As águas do Subgrupo Itararé são classificadas como bicarbonatadas sódicas.

### **Formação Rio Claro**

As águas pertencentes a Formação Rio Claro são classificadas como bicarbonatadas cálcicas-magnesianas. Existem duas amostras, pertencentes a Formação Rio Claro, que foram classificadas como cloretadas sódicas, devido ao alto teor de Cl, 17,05 ppm e 22,53 ppm, respectivamente. Este teor elevado pode indicar contaminação por esgoto. E uma única amostra coletada na nascente, dentro da propriedade de uma fábrica, mais precisamente à jusante da fábrica, foi classificada como sulfata sódica. A composição química desta água provavelmente reflete a contaminação de algum tipo de produto descartado por esta fábrica.

## Formação Corumbataí

As águas pertencentes a Formação Corumbataí são classificadas como bicarbonatadas cálcicas.

Devido a complexidade estrutural existente na cidade de Ipeúna, os poços 27 e 28 podem ter sido perfurados até atingir a Formação Corumbataí e o poço 29 até atingir o Subgrupo Itararé, associados as suas profundidades, mas o alto teor de cálcio encontrado nas análises físico química e plotados nos diagramas de *Piper* e *Stiff*, indica que essas águas provavelmente são bombeadas da Formação Tatuí que possui algumas lentes carbonáticas de origem diagenética.

Outro aspecto interessante foi encontrado no poço 26, próximo a cidade de Ferraz com profundidade de 51 m, atingindo a Formação Corumbataí. Mas os diagramas de Piper e Stiff mostram uma classificação semelhante as águas do Subgrupo Itararé.

Sendo assim, provavelmente essa água tem origem de alguma fratura que está cortando o Subgrupo Itararé.

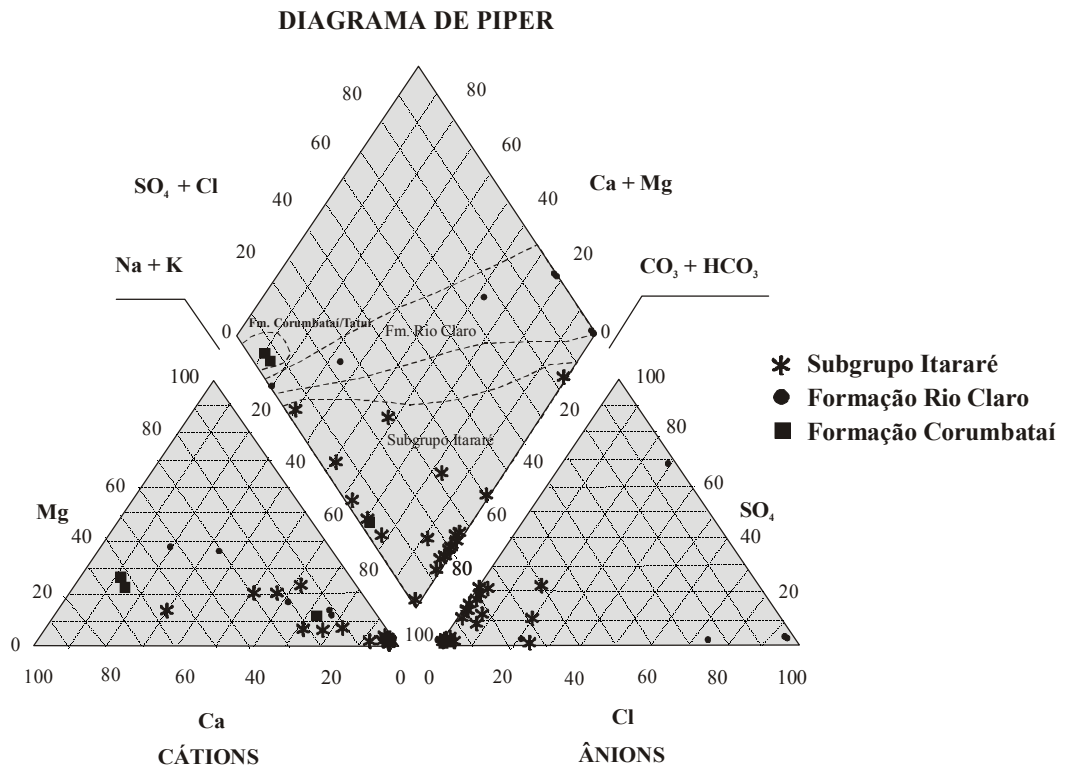


Figura 4: Diagrama de *Piper* ilustrando os campos de cada tipo hidroquímico.



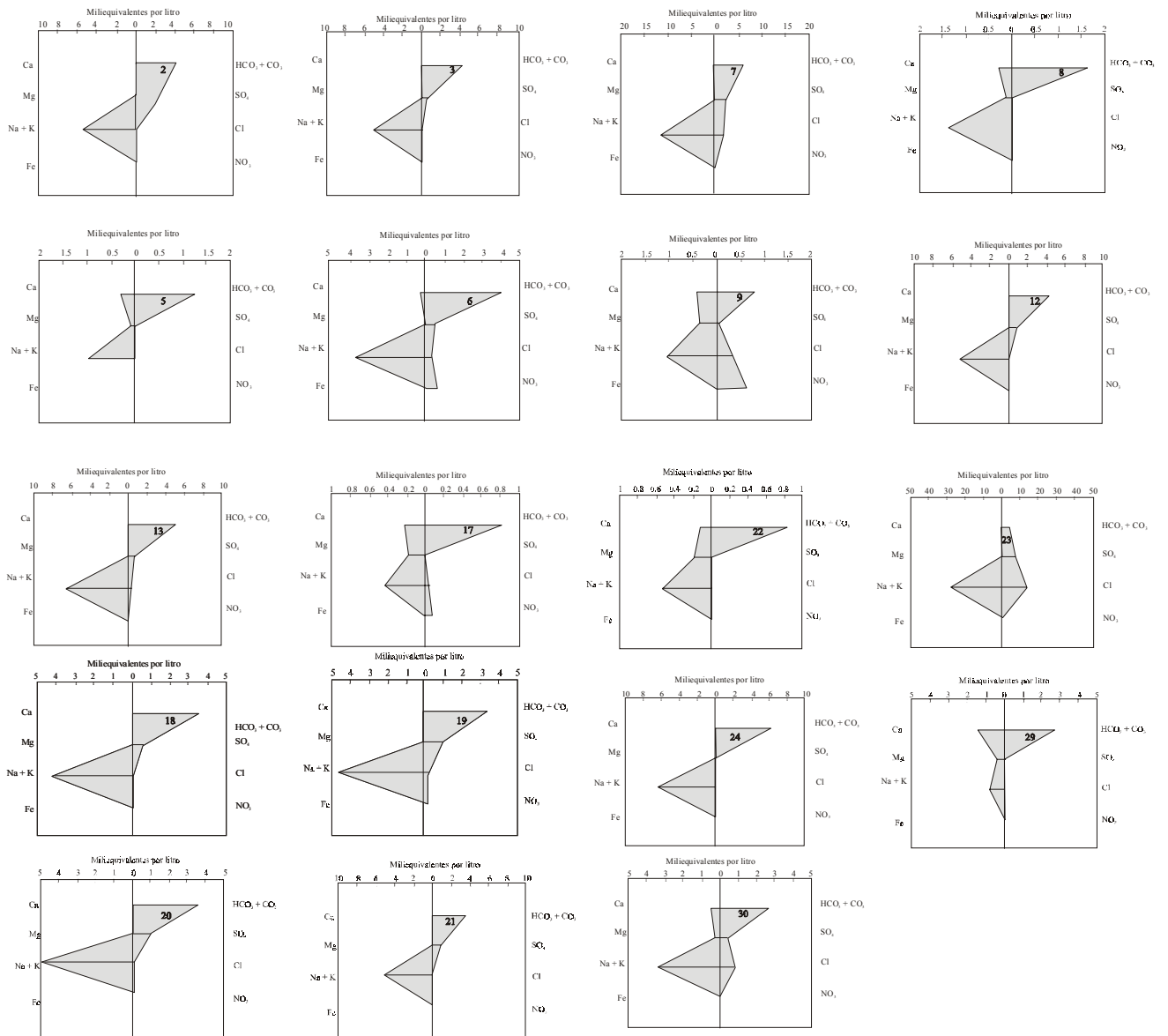


Figura 5: Diagramas de *Stiff*, das diferentes amostras coletadas no Subgrupo Itararé.

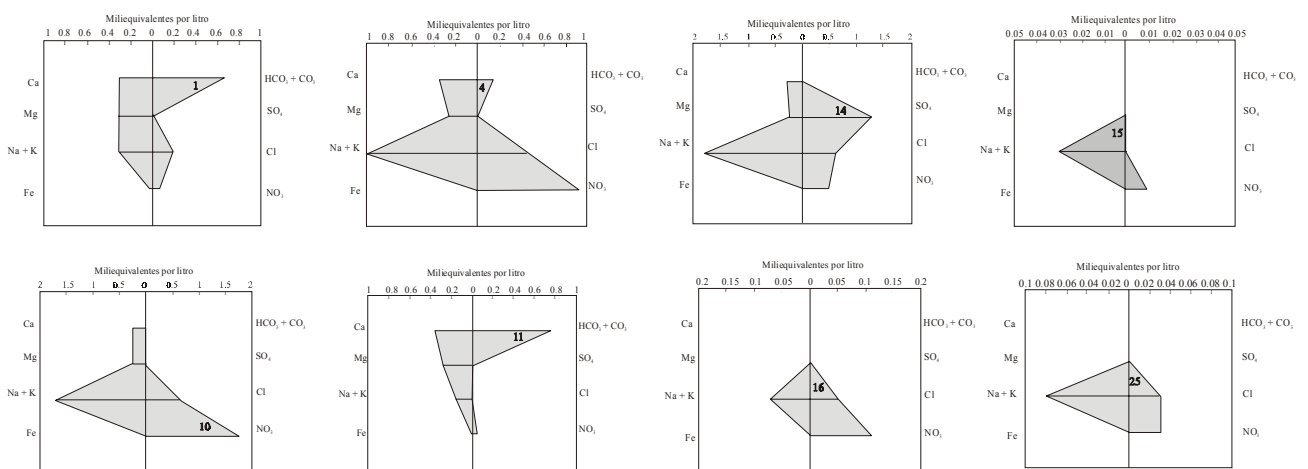
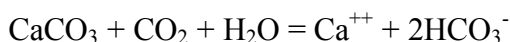


Figura 6: Diagramas de *Stiff*, das diferentes amostras coletadas na Formação Rio Claro.



As águas da Formação Corumbataí/Tatuí ricas em  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{HCO}_3^-$  indicam que a composição das águas é controlada por minerais carbonáticos, que são comuns nestas unidades. A reação que melhor descreve este processo é:



## CONCLUSÃO

As análises químicas das águas subterrâneas no município de Rio Claro foram realizadas em amostras coletadas tanto em poços rasos, onde o aquífero é comumente formado pelos arenitos da Formação Rio Claro como em poços mais profundos, onde o aquífero é freqüentemente constituído por arenitos do Subgrupo Itararé.

Os tipos hidroquímicos pertencentes a cada um desses grupos foram obtidos com auxílio dos diagramas hidroquímicos (*Piper e Stiff*).

Os arenitos da Formação Rio Claro são classificados como quartzo arenito imaturo devido a grande quantidade de matriz de infiltração (caolinita). Esses arenitos passaram por um processo de intensa lixiviação.

As águas pertencentes a Formação Rio Claro são classificadas como bicarbonatadas cálcicas-magnesianas.

Os arenitos do Subgrupo Itararé são classificados como subarcóseos, com alta porcentagem de quartzo e moderada quantidade de feldspato.

A presença de illita e esmectita sugere que a lixiviação não foi tão intensa quanto a ocorrida nos sedimentos da Formação Rio Claro.

Suas águas são classificadas como bicarbonatadas sódicas.

Já as águas da Formação Corumbataí/Tatuí são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, retratando o envolvimento de minerais carbonáticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COTTAS, L. R. - 1983. Estudos geológico- geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro- SP. São Paulo, SP. 171p., 2V. (Tese de Doutorado – Instituto de Geociências/USP).
- [2] ZAINE, J. E. - 1994. Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro –SP., 90p. (Dissertação de Mestrado- Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp- Rio Claro).
- [3] MELO, S. M. - 1995. A Formação Rio Claro e Depósitos Associados: Sedimentação Neocenozóica na Depressão Periférica Paulista. São Paulo, 144p. (Tese de Doutorado- Instituto de Geociências/USP).

- [4] FRIEDMAN, M. G.; SANDERS E. J. - 1978. *Principles of Sedimentology*. Estados Unidos, Ed. Copyright, p.58-65.
- [5] VIDAL, A. C. - 1997. Caracterização Hidrogeoquímica dos Compartimentos Estruturais da Bacia de Taubaté. 102p. (Dissertação de Mestrado- UNICAMP).
- [6] TROPMAIR, H. - 1992. Atlas da qualidade ambiental e de vida de Rio Claro-SP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP.72p.
- [7] DAEE - 1981. Estudo de Águas Subterrâneas, Região Administrativa 5 (Campinas), SP. São Paulo, 2V.
- [8] WU, F. T. - 1989. Proveniência das Rochas Arenosas do Subgrupo Itararé no Sul do Estado de São Paulo, SP. p 9-11 (Tese de Doutorado-Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp- Rio Claro).
- [9] LANDIM, P. M. B., SOARES, P. C., GAMA, J. R. E. - 1980. Estratigrafia do noroeste da bacia sedimentar do Paraná, p.45 (Curso de Especialização: Convênio IPT.- UNESP - Rio Claro).
- [10] CAETANO, M. R. – 1978. Aplicação de métodos quantitativos ao estudo comparado de seções litológicas do paleozóico superior da Bacia Sedimentar do Paraná (Grupo Tubarão e Passa-Dois) p.9-13.(Dissertação de Mestrado-Instituto de Geociências/ USP).
- [11] GIMENEZ, N. B. - 1996. Estudo Petrológico dos Arenitos da Formação Tatuí no Estado de São Paulo. São Paulo, 174p. (Dissertação de Mestrado- Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp, Campus de Rio Claro).
- [12] HACHIRO, J. - 1991. Litotipos, associações faciológicas e sistemas deposicionais da Formação Irati no estado de São Paulo, 175p. (Dissertação de Mestrado- Instituto de Geociências/USP).
- [13] ANDRADE, S. M. & SOARES, P. C. - 1971. Geologia de semi detalhe do centro- leste de São Paulo. Petrobrás. (Relatório Interno, DESUL, 407).
- [14] SOUZA, S. H. M. - 1985. fácies sedimentares das formações Estrada Nova e Corumbataí. p.142 (Dissertação de Mestrado- Instituto de Geociências/USP).
- [15] SCHENEIDER, R. L., MUHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R. A., DAEMON, R. F., NOGUEIRA, A. A. - 1974. Revisão estratigráfica da bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. *Anais...*Porto Alegre, SBG. V.1, p.41-65.
- [16] CAETANO, M. R. - 1997. A Formação Pirambóia no centro –leste do estado de São Paulo p.20-40 (Livre Docência- Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp- Rio Claro).
- [17] BJORNBERG, A. & LANDIM, P. M. B. - 1966. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (neoceno-zóico). *Boletim Sociedade Brasileira Geologia*, **15** (4): 43-67.

- [18] FREITAS, R. O., MEZZALIRA, S., ODA, G. H., VIEIRA, P. C., TORRES, C. C., HACHIRO, J., TOMINAGA, L. K., DEHIRA, L. K., MASSOLI, M., AZEVEDO, A. A. B., PRESSINOTI, M. M. N. – 1979. Projeto levantamento geológico de formações superficiais. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA. SBG. (2), p.263-277.
- [19] ALMEIDA, F. F. M. & BARBOSA, O. - 1953. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. *Bol. Div. Geol. Min. DNPM*, n. **143**: 1-96.
- [20] FÚLFARO, V. J. & SUGUIU, K. – 1968. A Formação Rio Claro, (Neo-cenozóico), e seu ambiente de deposição. *Boletim Instituto Geográfico e Geológico*, **20**: 45-60.
- [21] PENTEADO, M. M. - 1976. Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista. Instituto de Geografia- USP. Série Teses e Monografias n.22, 86p.
- [22] MELO, S. M.; COIMBRA, M.A.; CUCHIERATO, G. - 1997. Fácies Sedimentares da Formação Rio Claro, Neocenozóico da Depressão Periférica Paulista. *Revista IG São Paulo*, **18**: (1/2), 49-63, jan./dez.