

XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

ANÁLISE DE FÁCIES SEDIMENTARES APLICADA À ESTUDOS DE RESERVATÓRIOS EM DEPÓSITO FLUVIAL DA FORMAÇÃO RESENDE, RJ

1

Ana Carolina Lisboa Barboza¹; Thaís Coelho Breda¹; Gerson Cardoso da Silva Junior¹; Cláudio Limeira Mello¹

Resumo

Os reservatórios apresentam heterogeneidades sedimentares que influenciam o fluxo do fluido. Estas heterogeneidades definem a distribuição de hidrofácies, sendo caracterizadas pelas litofácies com distintas permeabilidades. O objetivo do estudo é caracterizar as litofácies e as propriedades hidráulicas da Seção-tipo da Formação Resende, na bacia de Resende, definindo as hidrofácies da área. A metodologia consistiu em ensaios de permeabilidade *in situ* e empíricos, além de análises granulométricas realizadas em cada litofácies existente na área, definidas através da aquisição de dados em campo, abrangendo a caracterização de fácies e elaboração de perfil colunar. Com base na caracterização sedimentar concluiu-se que a seção-tipo da Formação Resende corresponde a um sistema fluvial entrelaçado com fluxos gravitacionais, caracterizada através de um conjunto de 7 litofácies (três rudíticas, três areníticas e uma lutítica). Através dos resultados de permeabilidade compilados às litofácies, definiram-se três hidrofácies na área. Com base nessas hidrofácies, concluiu-se que o reservatório corresponde às litofácies **At1**, **Cmm** e **Ch**, onde a permeabilidade variou de 10^{-5} a 10^{-6} cm/s e a camada selante foi caracterizada pelas litofácies **Pm**, **Ah** e **At2**, de permeabilidade baixíssima, ($<10^{-7}$ cm/s), condicionando o fluxo no reservatório.

Abstract

Natural porous media bear sedimentary heterogeneities which influence fluid flow, and may be defined by the distribution of hydrofacies (lithofacies with different values of permeability). The aim of this paper is to characterize the lithofacies and hydraulic properties of Resende Formation, in Resende basin, defining the hydrofacies of the area. The methodology consisted of *in situ* and empirical

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária, Avenida Athos da Silveira Ramos, Depto. Geologia, Laboratório de Hidrogeologia, sala J0-05, CEP: 21949-900 – RJ. Fone (21) 2590-8091 Ramal 5. E-mail: carolcarius@gmail.com; thaisbreda@uol.com.br; gerson@acd.ufri.br e limeira@geologia.ufri.br

permeability tests and grain-size analyses performed in each lithofacies existing in the area, with facies characterization and description of geological profiles. It was possible to conclude that the Resende Formation section-type is a braided river system with gravitational flows, characterized by a set of seven lithofacies (three of clastic conglomerate rocks, three of sandstones and a mudstone). Through the results of permeability compiled with lithofacies, three hydrofacies were defined in the area. With basis on these it was concluded that reservoir area corresponds to lithofacies **At1**, **Cmm** and **Ch**, where the permeability ranged between 10^{-5} and 10^{-6} cm/s, and a layer characterized by lithofacies **Pm**, **Ah** and **At2**, with very low permeability (less than 10^{-7} cm/s), functioning as a confining layer in the reservoir.

Palavras-chave: Fácies sedimentares, permeabilidade, hidrofácies

1 INTRODUÇÃO

No âmbito do projeto “Modelagem Estratigráfica de Reservatórios Terrígenos: Aplicação à Avaliação do Potencial Hídrico da Bacia de Resende/RJ” (projeto MODESTHI), financiado pelo Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PADCT, desenvolveu-se uma metodologia integrando técnicas multidisciplinares para análise do potencial hidrogeológico em áreas sedimentares, sob enfoque da Geologia de Reservatórios, tomando-se como caso de estudo a bacia sedimentar de Resende (RJ). Através de pesquisas hidrogeológicas desenvolvidas nesse projeto, associadas a dados levantados por pesquisadores de diversas áreas ligadas à caracterização geológica e geofísica da bacia de Resende, gerou-se um modelo hidrogeológico da área.

O modelo de funcionamento hidrogeológico, a avaliação do potencial hídrico e mapas temáticos fornecidos pelo MODESTHI, formalmente já encerrado, servem como fundamento técnico para o uso responsável dos recursos hídricos subterrâneos da bacia de Resende e também podem servir de referência para o conhecimento hidrogeológico de áreas geologicamente semelhantes, como é o caso da bacia de Volta Redonda. Embora, tenham sido levantados muitos dados hidrogeológicos da região, no relatório final do MODESTHI (Bettini et al., 2004) recomenda-se a continuidade dos estudos em várias frentes que carecem de maior detalhamento, que serão de grande importância para o aperfeiçoamento do modelo de funcionamento do sistema aquífero ou que podem aprofundar o conhecimento hidrogeológico nestas áreas.

Neste contexto, a presente pesquisa terá como tema principal o estudo das fácies sedimentares que caracterizam os depósitos paleogênicos da bacia sedimentar de Resende, buscando relacioná-la

com parâmetros hidrogeológicos. Essa pesquisa busca aplicar o conhecimento adquirido pela indústria do petróleo, ao caracterizar os reservatórios granulares, na caracterização dos aquíferos granulares.

A integração dos conceitos hidrogeológicos com a sedimentologia resulta no conceito de hidrofácies (Faccini *et al.*, 1999), definidas como corpos sedimentares interconectados com propriedades hidráulicas similares (Anderson *et al.*, 1999). A relação das litofácies às hidrofácies pode ser quantitativamente avaliada usando afloramentos acessíveis e de boa exposição, que permitam mapeamento detalhado e medições de permeabilidade *in situ*. Uma vez que um afloramento apresente estratigrafia e litofácies similares a do aquífero, ele pode ser visto como análogo deste aquífero (analogia: “aquífero=afloramento”), que representa uma formação acessível para a pesquisa da geometria espacial e para medidas *in situ* de parâmetros hidráulicos na escala de detalhe (Klingbeil *et al.*, 1999). O resultado e a importância dos estudos integrados com objetivo de caracterizar as hidrofácies permitem o entendimento da vazão hídrica, do fluxo da água subterrânea, além de caracterizar a heterogeneidade do aquífero. Estudos dessa natureza também oferecem importante colaboração para a proteção e remediação de mananciais hídricos subterrâneos ante os efeitos de agentes contaminantes.

A relevância dessa pesquisa consiste na tentativa de estabelecer uma ponte entre as técnicas de interpretação faciológica e a hidráulica de reservatórios, de modo a melhorar a compreensão do comportamento dos fluidos em movimento em materiais sedimentares, segundo sua arquitetura deposicional. Para isso, é necessária a obtenção e interpretação das propriedades hidráulicas e a aplicação de técnicas sedimentológicas, utilizando analogias entre afloramentos semelhantes aos principais reservatórios, baseando-se em técnicas originalmente aplicadas à indústria de hidrocarbonetos.

2 OBJETIVO

O presente projeto tem como objetivo principal caracterizar as fácies sedimentares e as propriedades permoporosas nos depósitos sedimentares paleogênicos do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), particularmente na Formação Resende presente na bacia de Resende.

A Formação Resende foi escolhida para a realização desta pesquisa por ser o principal reservatório da bacia Resende, constituindo a maior parte dos depósitos paleogênicos da região.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia de Resende, juntamente com as bacias de Volta Redonda, São Paulo, Taubaté, Macacu e Curitiba, constituem um conjunto de bacias tafrogênicas continentais, denominado por Almeida (1976) como “Sistema de *Rifts* da Serra do Mar”. Atualmente, essa feição tectônica é conhecida como *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), que corresponde a um complexo de vales tectônicos, serras e bacias sedimentares com orientação ENE-WSW, de idade Eoceno-Oligoceno, que se estende de Curitiba ao litoral norte do Rio de Janeiro (Riccomini, 1989)-figura 1.

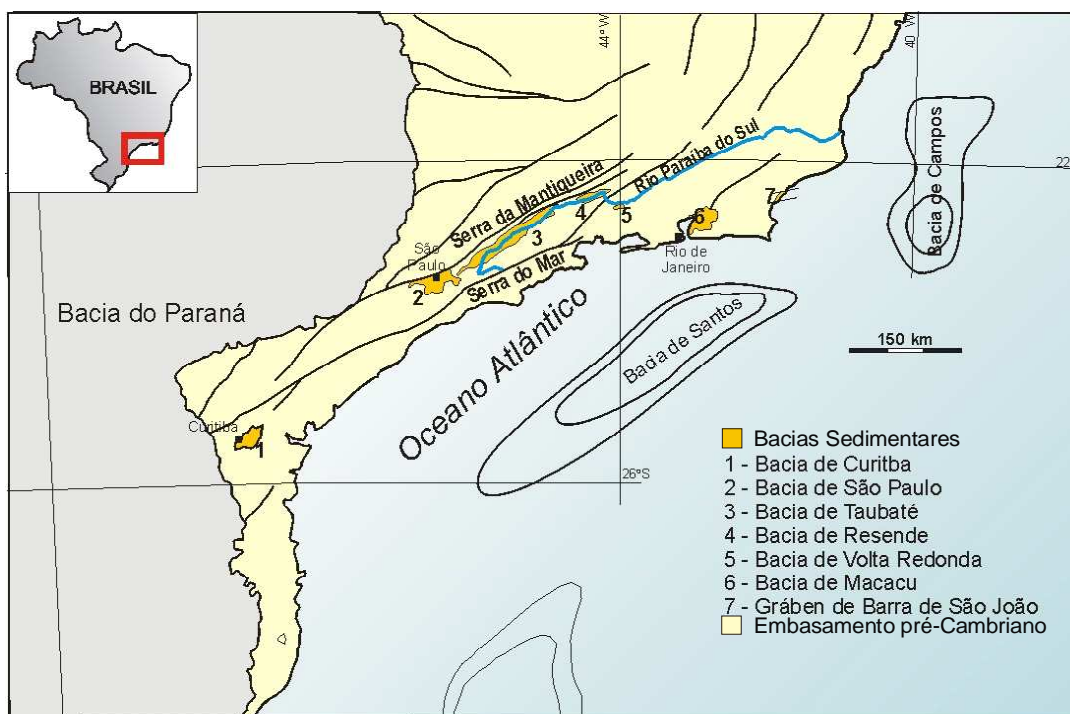


Figura 1 - Estruturação geológica da região sudeste do Brasil, com os principais lineamentos ENE e NE, e destaque para as bacias sedimentares que compõem o RCSB (modificado de Melo et al., 1985).

O *Rift* Continental do Sudeste do Brasil está implantado sobre o segmento central da Faixa Móvel Ribeira, que constitui um complexo cinturão de dobramentos e empurrões gerados no Neoproterózoico/Cambriano, durante a Orogênese Brasileira (Heilbron *et al.*, 1995). De idade paleógena, o RCSB é uma depressão alongada e deprimida com pouco mais de 900 km de comprimento, desenvolvido entre as cidades de Curitiba, no Paraná, e Barra de São João, no Rio de Janeiro (Riccomini, 1989; Riccomini *et al.*, 2000a).

Morfológicamente, o *Rift* Continental do Sudeste do Brasil apresenta-se como uma faixa estreita e deprimida, alongada segundo a direção ENE e os traços mais marcantes do relevo são as serras do Mar e da Mantiqueira. Segundo Riccomini *et al.* (2004), ainda não há consenso quanto aos mecanismos geradores quando relacionados com a origem das bacias tafrogênicas.

O modelo tectono-sedimentar proposto para as bacias do RCSB sugere uma sucessão de quatro eventos tectônicos ocorridos entre o Eoceno e o Quaternário (Figura 2). Em síntese, esta evolução pode ser definida por um regime de extensão na direção NNW-SSE (E1), seguido por uma movimentação transcorrente sinistral (TS), movimentação transcorrente dextral (TD), e por fim um regime de extensão na direção NW-SE (E2) (Ricomini, 1989).

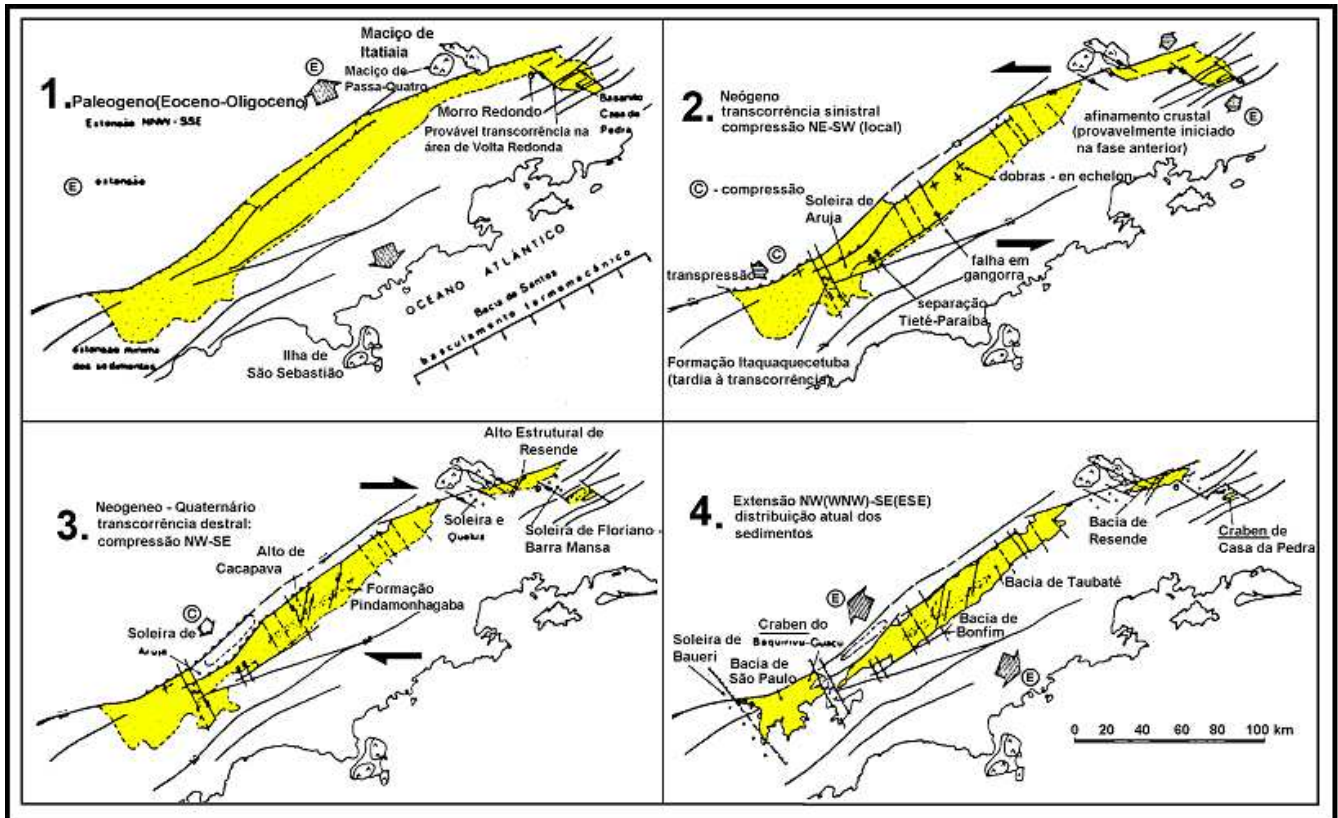


Figura 2 - Esquema proposto para a evolução tectônica do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Ricomini, 1989).

O preenchimento sedimentar paleogênico desenvolvido nas bacias do segmento central do RCSB é associado a sistemas de leques aluviais e canais fluviais entrelaçados, representados por depósitos conglomeráticos a arenosos intercalados com depósitos lamíticos (Melo *et al.*, 1985).

A Bacia de Resende localiza-se no extremo oeste do Estado do Rio de Janeiro e possui cerca de 47 km de comprimento, sendo alongada no sentido ENE-WSW, com seu eixo na direção N75E e largura média de 4,5 km, sendo a máxima de 7,3 km a oeste da cidade de Resende, e mínima de 1,2 km a oeste de Itatiaia (Figura 4).

3.1 Unidades Estratigráficas da Bacia de Resende

A proposta de Ramos (2003) da revisão estratigráfica da sucessão de depósitos aluviais terciários da Bacia de Resende será apresentada de forma cronológica do mais antigo para o mais recente. A distribuição espacial das unidades estratigráficas observada na carta estratigráfica da Bacia de Resende (Figura 3) foi documentada através de mapa geológico elaborado em escala 1:25.000 (Figura 4).

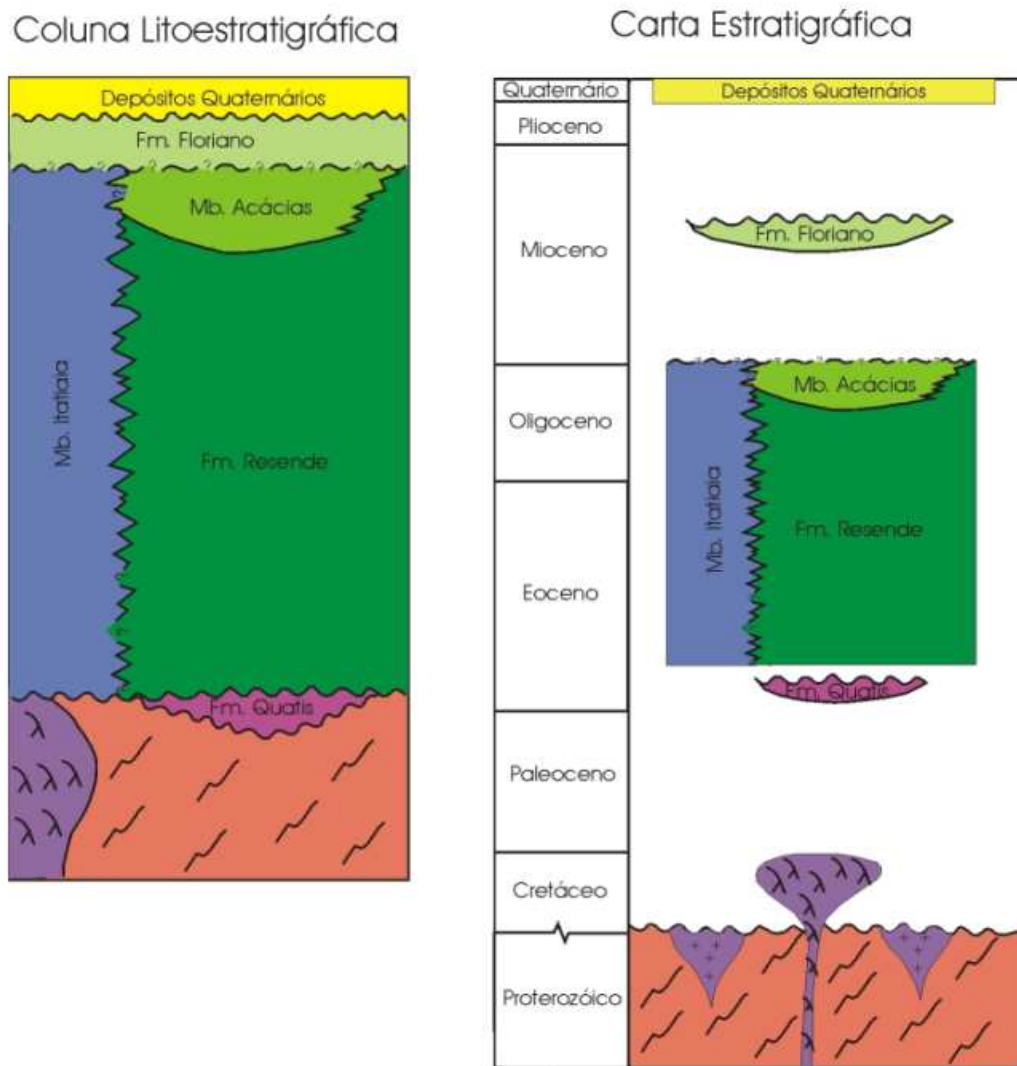


Figura 3 - Coluna litoestratigráfica e carta Estratigráfica da Bacia de Resende (Ramos, 2003).

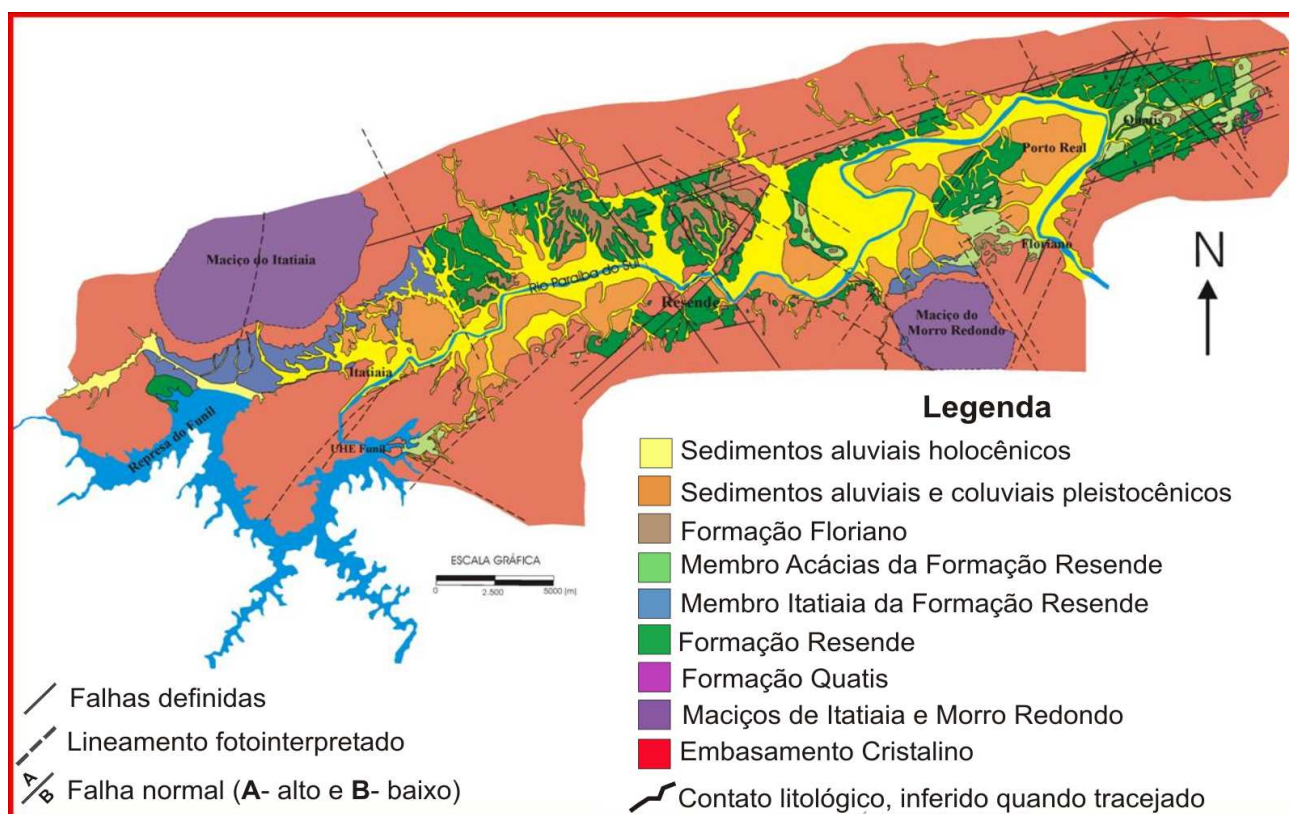


Figura 4 – Mapa geológico da Bacia de Resende (Ramos, 2003).

Formação Ribeirão dos Quatis

A Formação Ribeirão dos Quatis é a sucessão sedimentar mais antiga reconhecida na bacia restrita a sua extremidade oriental, e ocorre em inconformidade com o embasamento gnáissico, sendo caracterizada por sedimentos conglomeráticos. Os conglomerados apresentam-se maciços ou com estratificação mal definida, variando de médios a grossos, constituídos de seixos bem arredondados de quartzo.

A Fm. Ribeirão dos Quatis, de acordo com Ramos *et al.* (2005), constitui o registro de um antigo sistema fluvial de tipo entrelaçado com acentuadas flutuações na descarga das correntes, o qual produzia a erosão recorrente das formas de leito e o intenso retrabalhamento dos sedimentos.

Formação Resende

A consagrada Formação Resende definida por Amador (1975) representa a maior parte do volume de sedimentos paleogênicos que preencheu a bacia.

Segundo Ramos *et al.* (2006), a Formação Resende representa especificamente, os depósitos de leques aluviais formados na borda norte da bacia e próximo aos maciços alcalinos e os abundantes lamitos arenosos e arenitos lamosos derivados de fluxos gravitacionais que penetraram na bacia por ambas as suas bordas, bem como depósitos fluviais axiais à bacia. Por possuir algumas características

litológicas, composicionais e faciológicas distinguíveis nesta sucessão foi proposto por Ramos *et al.* (2006) a formalização de dois membros.

Membro Itatiaia

A denominação membro Itatiaia foi proposta por Ramos *et al.* (2005) para representar depósitos de leques aluviais adjacentes aos maciços do Itatiaia e do Morro Redondo e suas porções distais, onde há o predomínio de sedimentos depositados através de fluxos trativos. Estes são distinguíveis dos depósitos da Formação Resende *stricto sensu* pela composição rica em detritos derivados da erosão dos maciços alcalinos, o que confere a estes sedimentos coloração clara, variando do cinza ao esbranquiçado (Ramos *et al.* 2005; 2006).

A sucessão estratigráfica do Membro Itatiaia está em posição estratigráfica lateral e contato gradacional e/ou interdigitado com os depósitos típicos da Formação Resende *stricto sensu*, possuindo características composicionais e litofaciológicas que justificam o estabelecimento de uma unidade litoestratigráfica formal de hierarquia mais baixa.

Segundo Ramos *et al.* (2006), os depósitos proximais são formados por camadas com geometria lenticular a lenticular estendida de brechas clasto e matriz suportadas (litofácies Bcs e Bms), bem como arenitos lamosos e lamitos arenosos com proporções variadas de seixos e grânulos (litofácies Am2 e Pmm). Cada uma dessas camadas representa um episódio de fluxo gravitacional individual, não canalizado, originado de área-fonte bastante próxima. A maior parte dos detritos que compõe essa sucessão aluvial é de gnaisses miloníticos, silificados ou não, proveniente da importante zona de falha WSW-ENE localizada a algumas centenas de metros a norte. Nos depósitos desta associação mais afastados da falha principal do hemi-gráben, predominam as litofácies Am2, Pmm e brechas finas (litofácies Bcs), correspondendo à fácies distal de leques aluviais.

Membro Acácia

Ramos *et al.* (2005) denominaram Membro Acácias para representar depósitos aluviais mais típicos da Formação Resende, uma sucessão fluvial caracterizada pela superposição de ciclos granodecrescentes com espessura média em torno de 2-3 m, podendo alcançar até 4 m. Esse membro representa os depósitos de características eminentemente fluviais incluídos na associação de fácies 5, que ocorrem principalmente a leste do alto estrutural de Resende.

Cada ciclo do Membro Acácias é formado na base por conglomerado fino maciço, imaturo, sendo comuns intraclastos pelíticos, que podem formar lentes ou acúmulos irregulares de brechas intraformacionais (Ramos *et al.*, 2005). Acima, ocorrem arenitos arcoseanos médios a grossos com

estruturas acanaladas agrupadas, de médio porte, constituindo litofácies predominante nesta unidade. No topo desses ciclos, são registradas camadas pelíticas maciças ou gradadas com espessuras desde centimétricas até métricas, geometria lenticular a tabular e cores esverdeadas a avermelhadas.

Foram registrados, na extremidade leste da bacia, lentes de espessura decimétrica de siltitos e argilitos fracamente laminados, contendo fósseis de folhas (Ramos *et al.*, 2005).

Formação Floriano

A Formação Floriano, resgatada de Amador (1975), corresponde à sucessão sedimentar mais recente e abrange a sucessão de arenitos e pelitos, interpretados como o registro de um sistema fluvial meandrante que representa o preenchimento final da bacia, sendo este desenvolvido tanto sobre os depósitos da Formação Resende, como sobre o embasamento proterozóico no alto estrutural de Resende e na borda sul da bacia (Ramos, 2003).

4 METODOLOGIA ESPECÍFICA

4.1 Caracterização Sedimentar

No presente estudo, os atributos utilizados para a classificação de fácies em escala macroscópica serão textura, composição e estruturas sedimentares, por meio de perfis faciográficos colunares. Ramos (2003) realizaram o levantamento faciográfico do afloramento em análise. Entretanto, foi necessária a confecção de novo perfil faciográfico para haver precisão na localização dos ensaios de condutividade hidráulica a serem realizados em cada fácies sedimentar.

Para a identificação das fácies, será adotado um código alfanumérico, a fim de representá-las de forma simplificada. Esse código assemelha-se com a proposta de Miall (1985). As fácies encontradas serão interpretadas e relacionadas aos trabalhos de Miall (1985) e Ramos (2003).

Os ensaios granulométricos, baseados em Folk (1980), serão realizados para contribuir para a caracterização faciográfica, além de ser à base de entrada para a determinação da condutividade hidráulica através de métodos empíricos.

Foram construídos histogramas para apresentar a frequência granulométrica dos sedimentos e determinar a classe mais abundante da amostra, conhecida como classe modal. O histograma é uma ferramenta estatística usada para representar frequências de distribuição, estes diagramas esclarecem com rapidez as diferenças e semelhanças entre as amostras, facilitando a compreensão destas (Suguió, 1973). Para este propósito os resultados das análises foram compilados em tabelas de frequência, que mostram os intervalos de classes em mm e a porcentagem do peso total de cada classe.

4.2 Caracterização Hidráulica

A metodologia adequada para a caracterização dos parâmetros hidráulicos para esta pesquisa é baseada principalmente na comparação dos valores de condutividade hidráulica obtidos através de medições *in situ* e em laboratório, realizadas em pontos definidos segundo a geometria dos estratos e sua importância relativa ao fluxo de fluidos.

4.2.1 Método de medição *in situ*

A medição da permeabilidade *in situ* será realizada através do Permeômetro de Guelph Modificado (Vieira, 1998) - Figura 5, em cada fácies sedimentar identificada nos afloramentos estudados. Segundo Reynolds *et al.* (1983), este equipamento constitui um permeômetro de furo e de carga hidráulica constante, que mede a condutividade hidráulica saturada de campo na zona não saturada.

4.2.2 Métodos de Laboratório

Para estimar a permeabilidade em laboratório, será utilizado o método de *Hazen*, métodos empíricos baseados nas curvas granulométricas.

O método de Hazen é aplicado a areias que contenham o d_{10} variando de 0,1 a 3,0 mm e a fórmula que se aplica a este método é:

$$K = C(d_{10})^2 \quad (1)$$

Onde: K = condutividade hidráulica [L/ T]

d_{10} = diâmetro efetivo [L]

C = é um coeficiente baseado na tabela 1.

Uma restrição que se impõe para a utilização dessa fórmula é a de que o coeficiente de não uniformidade (CNU) seja menor que 5 (Fetter, 1994).

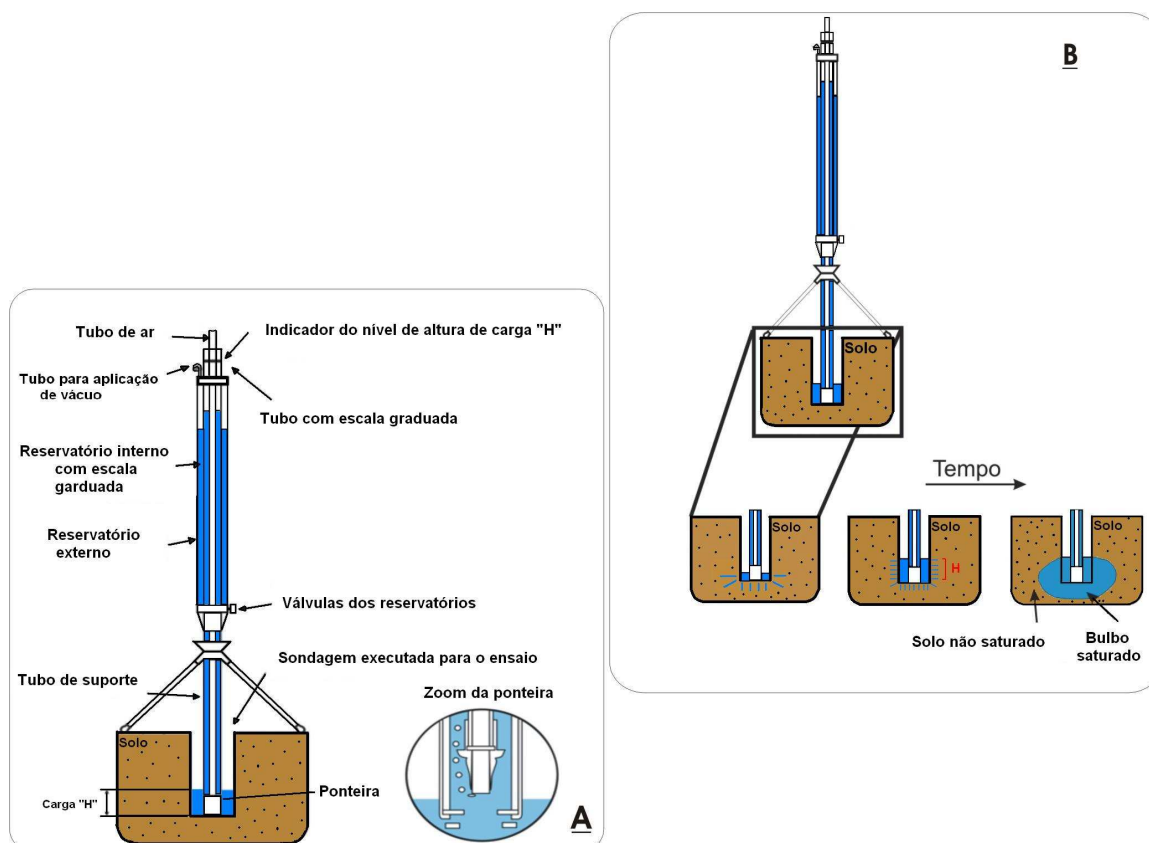


Figura 5 - Permeâmetro de Guelph modificado, utilizado *in situ*, com seus principais componentes.

Tabela 1 - Valor do coeficiente C de acordo com o material (Fetter, 1994).

MATERIAL	C
Areia muito fina, pobremente selecionada	40-80
Areia fina argilosa ou siltosa	40-80
Areia média, bem selecionada	80-120
Areia grossa, pobremente selecionada	80-120
Areia grossa, bem sortida, limpa	120-150

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização Sedimentar

5.1.2 Fácies Sedimentares

A descrição do perfil estratigráfico detalhado da Seção-tipo da Formação Resende (Figura 6) mostrou que as sucessões sedimentares podem ser caracterizadas através de um conjunto de 7

litofácies, sendo três rudíticas, três areníticas e uma lutítica. A Tabela 2 mostra a caracterização destas fácies e suas respectivas interpretações.

5.1.2.1 Litofácies Lutítica

- **Fácies Pm** (pelito maciço)

Descrição: Corresponde a siltitos maciços de coloração oliva com escassas bioturbações. Segundo Ramos (1997) essa cor oliva é uma coloração diagenética vinculada com a composição dos argilominerais presentes.

5.1.2.2 Litofácies Areníticas

Foram identificadas 3 fácies areníticas (**At1**, **At2** e **Ah**) no afloramento analisado.

- **Fácies At** (arenito com estratificação cruzada acanalada)

Descrição: A litofácies **At** foi dividida em duas variedades na Seção-tipo da Formação Resende: a primeira (**At1**) corresponde aos arenitos médios a muito grossos com estratificação cruzada e a outra, **At2**, constituída por arenitos muito fino a médio com estratificação cruzada.

A variedade **At1** é formada por arenitos médios a muito grossos, com seleção pobre a moderada contendo clastos angulosos a subarredondados e estratificação cruzada, apresentando cerca de 8% de argila. Sendo que a gênese desta argila pode estar associada a alteração do feldspato e minerais micáceos. São comuns nesta fácies intraclastos pelíticos e tamanho milimétrico e centimétrico e níveis conglomeráticos.

As camadas de **At2** correspondem a arenitos muito finos a médios, de coloração esverdeada, mal selecionado, subanguloso a anguloso com matriz argilosa de composição quartzo feldspática com estratificação cruzada.

- **Fácies Ah** (arenito fino laminado)

Descrição: Esta litofácies é caracterizada por arenitos muito finos a finos, por vezes siltosos, maciços ou com laminação mal preservada em camadas decimétricas (10 a 30 cm). Geralmente os planos de laminação são definidos por acumulações de micas.

5.1.2.2 Litofácies Rudíticas

Foram reconhecidas 3 litofácies rudíticas (**Ct**, **Ccm** e **Ch**) que serão detalhadas a seguir.

- **Fácies Ct** (conglomerado com estruturas acanaladas)

Descrição: São conglomerados finos a médios com matriz arenítica grossa com estratificação cruzada. O arcabouço é constituído por grânulos e seixos subangulosos a subarredondados de quartzo e feldspatos (sendo que os grãos de quartzo são mais arredondados que os de feldspatos). Subordinadamente aparecem litoclastos graníticos e são comuns intraclastos pelíticos, geralmente

siltitos finos, desde milimétricos até centímetros. A matriz é constituída por frações grossa, desde arenítica grossa/muito grossa até grânulos, geralmente apresenta-se mal selecionada e de composição quartzo-feldspática. Observam-se níveis conglomeráticos.

- **Fácies Ccm** (conglomerado clasto-suportado maciço)

Descrição: Corresponde a conglomerados finos a médios, maciços, constituído por um arcabouço por grânulos angulosos a subangulosos, pobremente selecionados composto por quartzo, feldspato, mica e líticos. A matriz é composta de frações arenosas (grossas/muito grossas) e, localmente, uma concentração de aproximadamente 10% de materiais lamíticos que dão a rocha uma coloração verde-pálido.

- **Fácies Ch** (conglomerado com estratificação horizontal)

Descrição: Esta litofácies é formada por conglomerado fino a médio, composto por seixos subangulosos de composição feldspática com estratificação horizontal.

5.1.2 Análise Granulométrica

Os ensaios granulométricos foram de fundamental importância, pois através da construção das curvas granulométricas foi possível obter o diâmetro efetivo D_{10} (diâmetro correspondente a 10% em peso total de todas as partículas menores que ele) de cada amostra, sendo este valor essencial para o cálculo da permeabilidade através do método de Hazen (Tabela 3) e juntamente com os resultados da condutividade hidráulica pôde-se definir as hidrofácies. Além disto, na tabela 3 encontra-se o resultado da classe mais abundante de cada amostra, esta foi adquirida através de histogramas confeccionados com o resultado da análise granulométrica.

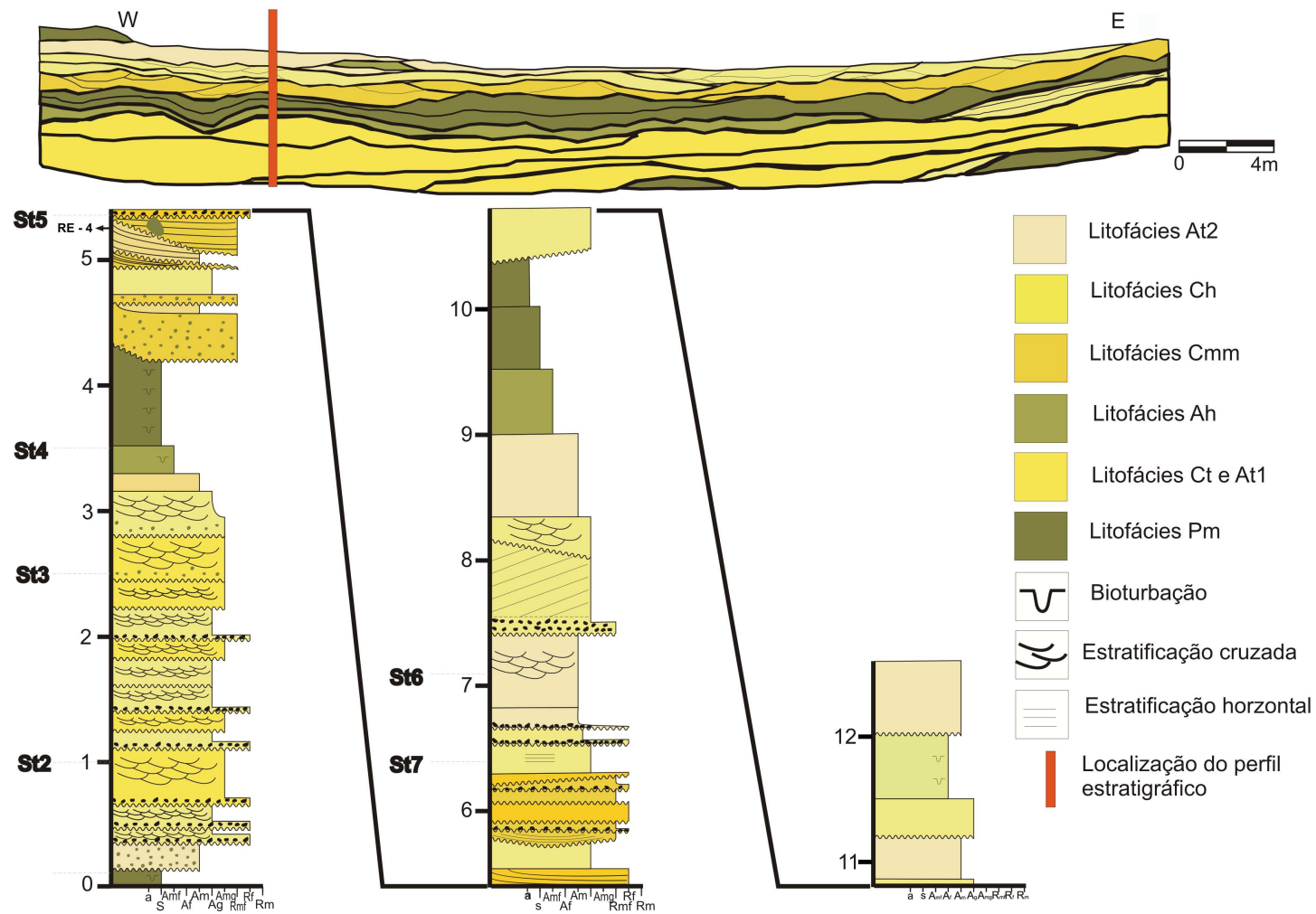


Figura 6 – Perfil estratigráfico e sua localização da seção estratigráfica da Seção-tipo da Formação Resende.

5.2 Caracterização Hidráulica

A tabela 3 apresenta os resultados de condutividade hidráulica comparados às propriedades físicas para cada fácies sedimentar.

Ao analisar os resultados de permeabilidade através do permeâmetro de Guelph e pelo método empírico de *Hazen*, observou-se que os valores de permeabilidade medidos em laboratório apresentaram de maneira geral, uma ordem de magnitude maior que os determinados *in situ* (Permeâmetro de Guelph). Isso pode estar associado ao efeito de impermeabilização da parede do furo durante a tradagem, intensificada pelos elevados teores de argila (variando aproximadamente de 8 a 15%) verificados nas amostras. Entretanto dois pontos onde as fácies são compostas por arenito conglomerático (ST3 e ST7) obtiveram valores *in situ* maiores (10^{-5} cm/s) que no método empírico (10^{-6} e 10^{-8} cm/s, respectivamente).

Com base nas propriedades granulométricas e nos resultados de condutividade hidráulica, estimaram-se 3 possíveis hidrofácies (Tabela 4) existentes nos sedimentos paleogênicos da Seção-tipo da Formação Resende (Figura 7).

6. CONCLUSÕES

Com base no perfil estratigráfico e nas fácies analisadas pode-se concluir que o a seção-tipo da Formação Resende corresponde a um sistema fluvial entrelaçado com fluxos gravitacionais. Onde as sucessões fluviais são formadas, de modo geral, pela alternância de ciclos granodecrescentes, caracterizados por conglomerados finos a médios na base, maciços ou com estratificação cruzada (**Ccm Ct** e **Ch**), apresentando intraclastos pelíticos, acima ocorrem arenitos finos a grossos com estratificação cruzada (**At**) e no topo, camadas maciças de siltito (**Pm**) ou de arenito fino laminado (**Ah**).

A determinação da permeabilidade saturada através do permeâmetro de Guelph não apresentou resultados satisfatórios, pois este equipamento é aplicado a materiais com permeabilidade de ordens de magnitude entre 10^{-2} e 10^{-6} cm/s, uma vez que as fácies analisadas apresentam muita argila (8%) e estas no ato da sondagem pode impermeabilizar a parede do poço. Nas fácies argilosas (ST1, ST4 e ST6) ensaiadas quase não houve variação de nível da água, não havendo praticamente fluxo em algumas amostras, conseqüentemente o resultado desses ensaios não são confiáveis, sabe-se apenas que são de ordem de magnitude menor que 10^{-6} cm/s, considerada muito baixa.

O afloramento estudado está exposto à erosão, conseqüentemente o feldspato (mineral abundante na área) apresenta alteração, esse pode ser o motivo do teor elevado de argila. Mas, em subsuperfície, este fato provavelmente não ocorre por não estar exposto diretamente aos efeitos intempéricos.

Com base nas hidrofácies pode-se concluir que o reservatório da Seção-tipo da Formação Resende corresponde às litofácies **At1**, **Cmm** e **Ch**, onde a permeabilidade destas fácies variou entre 10^{-5} e 10^{-6} cm/s. Deve-se levar em consideração que a permeabilidade da fácies **Ch** estimada pelo método de *Hazen* foi da ordem de 10^{-8} cm/s, considerada baixíssima para o tipo de material analisado. Isso pode ser explicado pois no momento do peneiramento teve-se que retirar os seixos retidos na peneira acima de número 4 (ou seja, acima de 4mm), conseqüentemente este resultado não está compatível com o material avaliado. Apesar de a litofácies **Ct** apresentar características sedimentares adequadas para um bom reservatório, a presença de camadas ferruginosas é a causa desta fácies não obter boa condutividade hidráulica, dificultando desta forma a passagem do fluxo. Esse reservatório possui geometria tabular, espessura de aproximadamente 4m e extensão maior que 50m. Já a camada selante é caracterizada pela espessura entre 2-3m, extensão maior que 50m, geometria tabular e pelas litofácies **Pm**, **Ah** e **At2**, estas apresentaram condutividade hidráulica baixa, na ordem de magnitude acima de 10^{-7} cm/s, fazendo com que o fluxo fique retido no reservatório.

Os resultados da condutividade hidráulica desta pesquisa foram obtidos em exposições aflorantes, esses resultados devem ser considerados como uma estimativa do que ocorre na subsuperfície, uma vez que esta não deve apresentar alterações em seus materiais. Para obtermos resultados de permeabilidade da subsuperfície, recomenda-se a realização de ensaios do tipo *slug-test* nos poços encontrados próximos a área de estudo.

Recomenda-se a realização de estudos sobre hidrofácies, com a finalidade de caracterizar hidrogeologicamente os materiais sedimentares que compõem a Bacia de Resende, de modo a avançar no conhecimento do comportamento destas rochas como aquíferos.

Tabela 2 - Fácies sedimentares identificadas e suas interpretações (estas foram baseadas em Bettini et al., 2004).

FÁCIES	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
Pm	pelito maciço	decantação de carga suspensiva e canais abandonados
Ct	conglomerado com estruturas acanaladas	migração de dunas de cascalho de crista sinuosa
Cmm	conglomerado clasto-suportado maciço	correntes tracionais em regime de fluxo superior (RFS)
Ch	conglomerado com estratificação horizontal	superposição de lençóis de cascalho através de correntes tracionais em RFS
At1	arenito com estratificação cruzada acanalada	migração de dunas de crista sinuosa
At2	arenito com estratificação cruzada acanalada e matriz argilosa	migração de dunas de crista sinuosa
Ah	arenito fino laminado	agração vertical de areia sob o regime de fluxo inferior

Tabela 3 - Resultados da condutividade hidráulica através de ensaios de Guelph e de laboratório relacionados às propriedades granulométricas.

AMOSTRA	FÁCIES	Classe Modal	D ₁₀	PERMEABILIDADE MÉTODO DE HAZEN	PERMEÂMETRO DE GUELPH (cm/s)
ST-1	Pm	Argila	0,0013	$1,69 \cdot 10^{-7}$	$8,95 \cdot 10^{-8}$
ST-2	Ct	Areia grossa-Argila	0,003	$9 \cdot 10^{-7}$	$1,58 \cdot 10^{-7}$
ST-3	At1	Areia média	0,006	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$
ST-4	Ah	Argila	0,0015	$2,25 \cdot 10^{-7}$	$2,23 \cdot 10^{-8}$
ST-5	Cmm	Areia grossa a média	0,01	$1 \cdot 10^{-5}$	$3,87 \cdot 10^{-6}$
ST-6	At2	Argila-Areia média	0,0018	$3,24 \cdot 10^{-7}$	$6,62 \cdot 10^{-8}$
ST-7	Ch	Grânulos	0,015	$2,25 \cdot 10^{-8}$	$3,09 \cdot 10^{-5}$

Tabela 4 – Hidrofácies identificadas e suas interpretações

HIDROFÁCIES	DIAGNOSE	LITOFÁCIES ASSOCIADAS
1	Siltito e siltito arenoso	Pm, Ah e At2
2	Arenito médio a grosso com matriz argilosa	Ct e At1
3	arenito grosso a conglomerático	Cmm e Ch

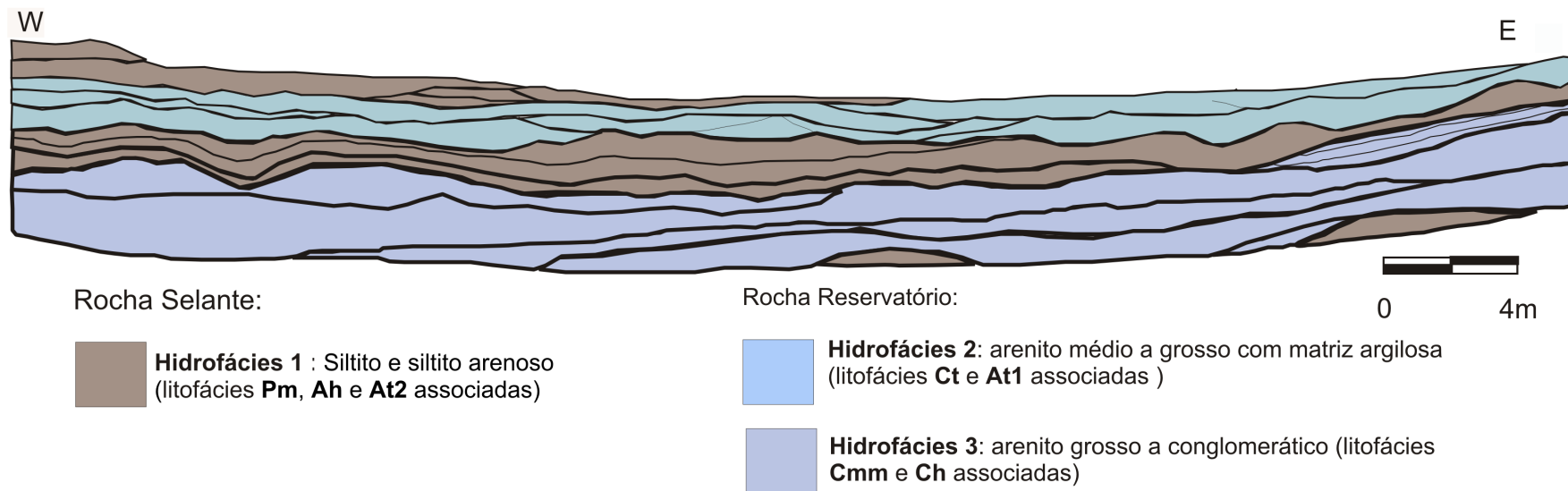


Figura 7 - Estimativa das possíveis hidrofácies dos sedimentos fluviais da Seção-tipo da Formação Resende, bacia de Resende.

Bibliografia

- Almeida, F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48:15-26.
- Amador, E.S. 1975. Estratigrafia e sedimentação na bacia de Resende - RJ. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Supl.)*, 47:181-223.
- Anderson, M.P.; Aiken J.S.; Webb E.K. & Mickelson D.M. 1999. Sedimentology and hydrogeology of two braided stream deposits. *Sedimentary Geology*, 129: 187-199.
- Bettini, C. (Coord). 2004. *Modelagem estratigráfica de reservatórios terrígenos: aplicação à avaliação do potencial hídrico da bacia de Resende (RJ)*. Relatório, UFRJ / CPRM / ON, Rio de Janeiro, 266 p.
- Faccini, U.F.; Giardin, A. & Machado, J.L.F. 2003. Heterogeneidades litofaciológicas e hidrostratigrafia do sistema Aquífero Guarani na região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *In: Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares - Estudo de casos*, São Leopoldo, UNISINOS, p. 147-164.
- Fetter, C.W. 1994. *Applied hydrogeology*. New Jersey, Prentice Hall. 691p.
- Heilbron, M.; Valeriano, M.C.; Valladares, S.C. & Machado, N. 1995. A orogênese Brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25 (4): 249–266.
- Klingbeil R.; Kleineidam S.; Asprien U.; Aigner T. & Teutsch G. 1999. Relating lithofacies to hydrofacies: outcrop – based hydrogeological characterization of Quaternary gravel deposits. *Sedimentary Geology*, 129: 299-310.
- Melo, M.S.; Riccomini, C.; Hasui, Y.; Almeida, F.F.M. & Coimbra, A.M. 1985. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(3):193-201.
- Miall, A.D.,1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Sci. Rev.*, n. 22, p. 261-308.
- Ramos, R.R.C. 2003. *Sistemas Aluviais Terciários da Bacia de Resende, Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Análise de Fácies e Revisão Estratigráfica*. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 221 p.
- Ramos, R.R.C.; Mello C.L. & Sanson M.S.R. 2005. Bacia de Resende. *Fundação Paleontológica Phoenix*, 76: 1 – 6.

- Ramos, R.R.C.; Mello C.L. & Sanson M.S.R. 2006. Revisão estratigráfica da Bacia de Resende, *Rift Continental do Sudeste do Brasil*, Rio de Janeiro. *Geociências*, 25 (1): 59 – 69.
- Reynolds, W. D. & Elrick, D. E. 1983. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturad hydraulic conductivity above the water table. *Soil Science*, v.136, 4: 250-268.
- Riccomini, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p.
- Riccomini, C.; Sant´Anna, L.G.; Ferrari, A.L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. *In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Dal Ré Carneiro, C. & Brito Neves, B.B. (orgs.) Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 383-405.
- Vieira, S. R. 1998. Permeâmetro: Novo aliado na avaliação de manejo do solo. *O Agrônomo*, 50: 32-33.