

# HIDROGEOQUÍMICA DOS AQUÍFEROS DO LITORAL LESTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO A ANÁLISE DE *CLUSTER*.

Vinicius do Nascimento Cristo<sup>1</sup>; Juliana Magalhães Menezes<sup>2</sup> & Gerson Cardoso da Silva Junior<sup>1</sup>

**Resumo** – O presente trabalho tem como objetivo caracterizar estatisticamente a hidrogeoquímica dos aquíferos costeiros do litoral leste do estado do Rio de Janeiro, localizados em nove municípios litorâneos e que se estendem do bairro de Piratininga localizado no município de Niterói até o município de Rio das Ostras, empregando a análise de *cluster*. Esta caracterização foi realizada a partir de dados coletados em projetos anteriores do Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ (Hidrogeo) e em parceria com outras instituições. Tais dados foram utilizados na tentativa de se individualizar cada aquífero de acordo com as características apresentadas em análises químicas.

Primeiramente, foi feita uma avaliação dos poços cadastrados para selecionar os que atendiam ao objetivo deste trabalho. Utilizaram-se então nove parâmetros mais relevantes para uma caracterização hidrogeoquímica da água realizada em cinquenta poços mais representativos. Após a realização desta etapa, procedeu-se um tratamento estatístico utilizando análise de *cluster*. A análise de *cluster* foi dividida em duas partes: 1- determinação hidrogeoquímica, de maneira geral e 2 - agrupamento de amostras, segundo suas individualidades químicas. Em uma segunda etapa, depois de processados, os dados foram comparados na tentativa de observar o grau de similaridade hidrogeoquímica dos aquíferos e indicar quais os parâmetros são responsáveis por essas similaridades ou dessemelhanças entre esses aquíferos.

**Abstract** – This work aims to statistically characterize hydrogeochemistry of coastal aquifers on the east coast of Rio de Janeiro State. The area stretches from the city of Niterói to the municipality of Rio das Ostras. This characterization was accomplished with data collected in various projects executed by the Hydrogeology Lab - UFRJ (Hidrogeo) in partnership with other institutions. Such data was used in an attempt to individualize each aquifer according to the featured chemical characteristics.

---

<sup>1</sup>UFRJ IGEO Departamento de Geologia Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental. Av. Athos da Silvera Ramos, 274 CEP:21949 916 ,Tel: 55 21 25699481 ramal 7 vcristo\_85@yahoo.com.br  
<sup>2</sup> Pesquisadora PRODOC/ CAPES UERJ IGEO Departamento de Geologia Aplicada. menezesgeo@yahoo.com.br

First, an assessment was made of a hydrogeological database to select the appropriate wells that met the objective of this work. The nine most relevant parameters for a hydrogeochemical characterization groundwater were used, taken from samples of fifty more representative wells. After completion of this step, a statistical cluster analysis was performed. Cluster analysis was divided into two parts: 1 - hydrogeochemistry determination in general and 2 - Grouping of samples according to their chemical individuality. In a second step, once processed, the data were compared in order to observe the degree of hydrogeochemical similarity of the aquifers and to indicate which parameters are responsible for these similarities or dissimilarities between these aquifers.

**Palavras-Chave** – Analise de *Cluster.*, Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro e Aquíferos Costeiros

## **INTRODUÇÃO E OBJETIVOS**

Na Região dos Lagos do Estado do Rio de Janeiro, grande parte da população retira água dos mananciais subterrâneos presentes, pois mesmo com a progressiva expansão de uma rede de abastecimento de água, o consumo de água subterrânea continua relevante e em alguns casos imprescindível. Durante o período do verão ocorre um grande aumento na demanda de água e é nesse período que se deve aumentar a vigilância sobre a quantidade e a qualidade da água extraída dos aquíferos, pois o sistema fica sob grande pressão.

O objetivo do trabalho é avaliar estatisticamente os dados hidrogeoquímicos obtidos no âmbito de projetos prévios realizados pelos autores e que não tiveram uma avaliação sistemática, com técnicas estatísticas, para sua conceituação e comparação.

## **ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo deste trabalho compreende vários aquíferos do litoral leste do estado do Rio de Janeiro se estendendo do município de Niterói, área metropolitana do estado Rio de Janeiro, até o município de Rio das Ostras, localizado na região leste do estado do Rio de Janeiro. Inclui, portanto, os municípios de Maricá, Saquarema, Araruama, São Pedro d'Aldeia, Arraial do Cabo, Cabo Frio e Armação de Búzios.

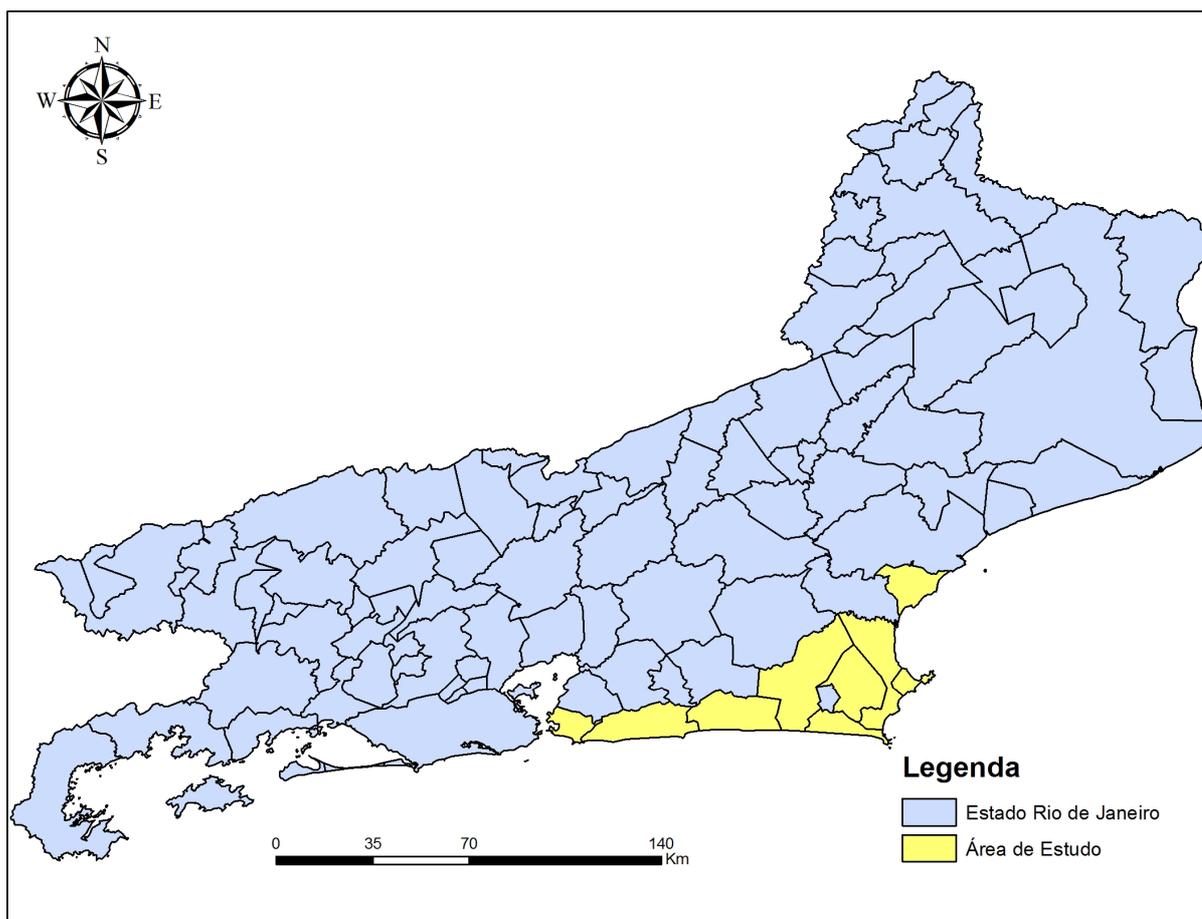


Figura 1 – Localização da Área de Estudo

A microrregião Lagos (IBGE, 2008), comumente chamada de Região dos Lagos, é classificada pelo IBGE como uma mesorregião de baixadas, e é uma região que possui cerca de 2300 km<sup>2</sup> onde vive uma população aproximada de 600 mil pessoas com uma densidade populacional de 253 habitantes por km<sup>2</sup>.

Os indicadores socioeconômicos da Região dos Lagos diferem da capital do estado sendo mais baixos que esta. O IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) médio é de 0,770, porém, segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2006) a região dos Lagos possui três municípios (Cabo Frio, Búzios e Arraial do Cabo) que estão entre os quinze primeiros IDH do estado. A região dos Lagos é considerada como uma região de veraneio e recebe um grande público por estar localizada próxima da capital do estado do Rio de Janeiro.

O clima predominante na Região dos Lagos é o tropical, a temperatura média anual é de 24°, com verões moderadamente quentes, com ventos marinhos que amenizam o clima e invernos amenos. A precipitação dessa região varia entre 750 mm (Arraial do Cabo, Cabo Frio e Búzios ) e 1100mm em municípios como Saquarema e Maricá. A Região dos Lagos é

caracterizada geomorfologicamente por uma planície flúvio – marinha (chamada de baixada da Região dos lagos), uma região de maciços costeiros homônimos e por superfícies aplainadas nas baixadas litorâneas.

Geologicamente, ocorrem unidades gnáissicas e migmatíticas do embasamento pré-cambriano, intensamente metamorizadas tectonizadas. Estruturalmente, observam-se evidências de várias fases de deformação com orientação preferencial NE – SW. Posteriormente às fases de metamorfismo e dobramento, ocorreu uma atividade magmática ácida, responsável pela presença de granitos e inúmeros diques de leucogranitos e pegmatitos da região. A partir do Neógeno, deu-se início o processo de formação das lagoas e deposição dos sedimentos quaternários, quase sempre diretamente sobre o embasamento cristalino.

Os aquíferos observados na área de estudo são do tipo sedimentar clástico e fraturado. Os aquíferos sedimentares são aluvionares e costeiros heterogêneos formados por areias quartzosas, siltosas e argilosas (em quantidade inferior, as duas últimas). O aquífero fissural é representado pelo embasamento cristalino fraturado e funciona, tudo indica, como um aquífero semi-confinado, mal conectado com o aquífero livre (Silva Jr. *et al.*, 2005).

## **METODOLOGIA**

Analisaram-se nove parâmetros físico-químicos em amostras de água de 50 poços, a saber: íons cálcio, sódio, potássio, magnésio, bicarbonato, cloreto, sulfato, além de pH e condutividade elétrica (CE).

O método utilizado para fazer a avaliação da química da água foi a análise de *cluster* ou análise de agrupamento. A grande vantagem é que esse método estatístico tem como principal objetivo identificar grupos homogêneos de uma população, levando em consideração o peso ou valor das amostras (Vidal & Chang, 2002).

Este método busca agrupar as amostras a partir das características similares entre elas. Deste modo, o agrupamento é feito agregando poços com características similares e distanciando poços com características distintas. Os grupos são formados a partir das peculiaridades de cada variável (poços ou parâmetros físico-químicos). O *software* utilizado foi o SPSS® (*Statistical Package for the Social Sciences*), e a medida de similaridade usada para avaliar o grau de semelhança entre as amostras de água foi o quadrado da distância euclidiana, representado em um dendograma. Esse *software* oferece vários métodos de análise de *cluster* e, dentre esses, o que apresentou os grupos com melhores definições foi o método *Average Linkage*.

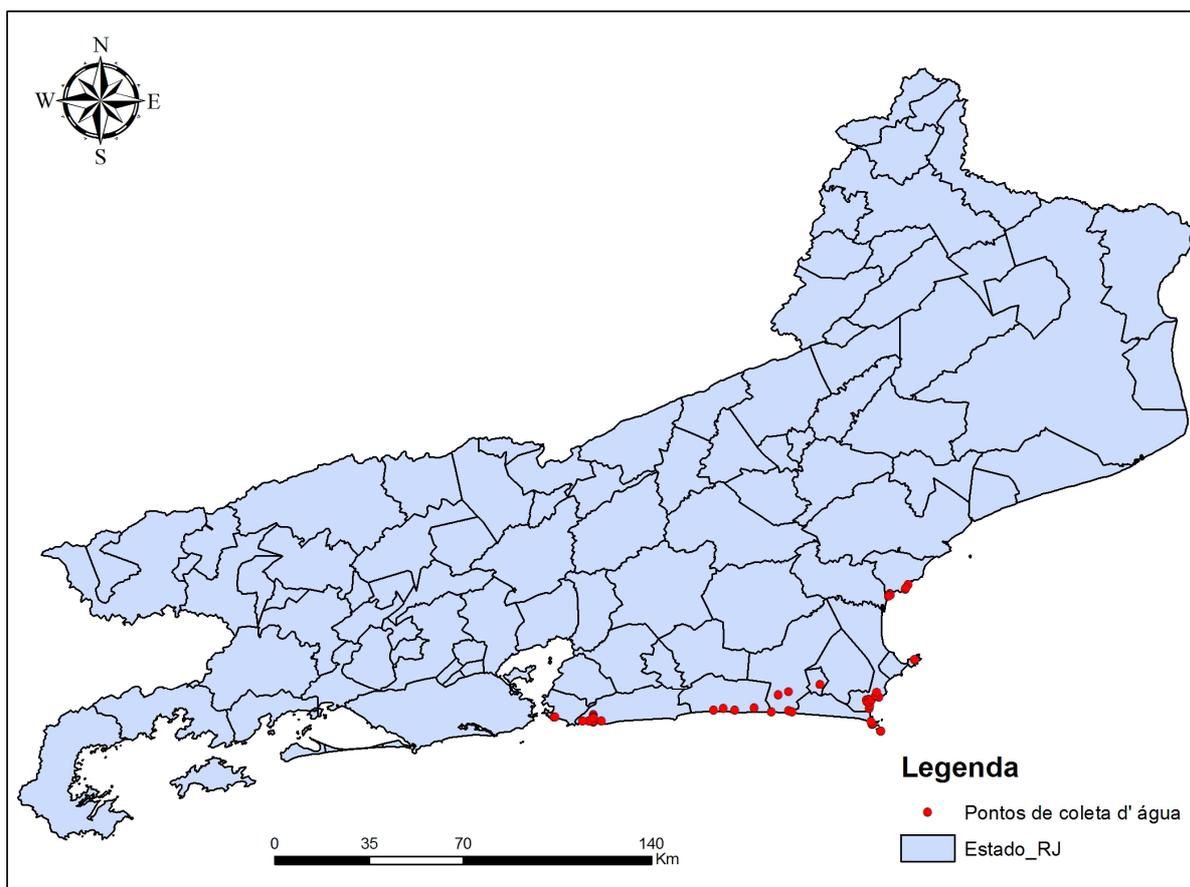


Figura 2 - Localização dos pontos de coleta de água subterrânea.

O conhecimento prévio sobre a estrutura dos dados é fundamental na escolha do corte do dendograma, já que este é subjetivo e determina a formação dos grupos. Para a realização do corte deve-se levar em conta o objetivo da análise e o número de grupos desejados. Para a análise dessas amostras utilizaram-se dois dendogramas, um com os íons principais, pH e CE e outro com os poços analisados. Após a realização dos gráficos buscou-se interpretar os dados de modo a encontrar explicações para o comportamento químico da água dos poços analisados nos municípios que contemplados neste trabalho, atentando-se para possíveis associações químicas entre os aquíferos.

## RESULTADOS

Nesta etapa serão apresentados os dendogramas que demonstram o agrupamento das amostras.

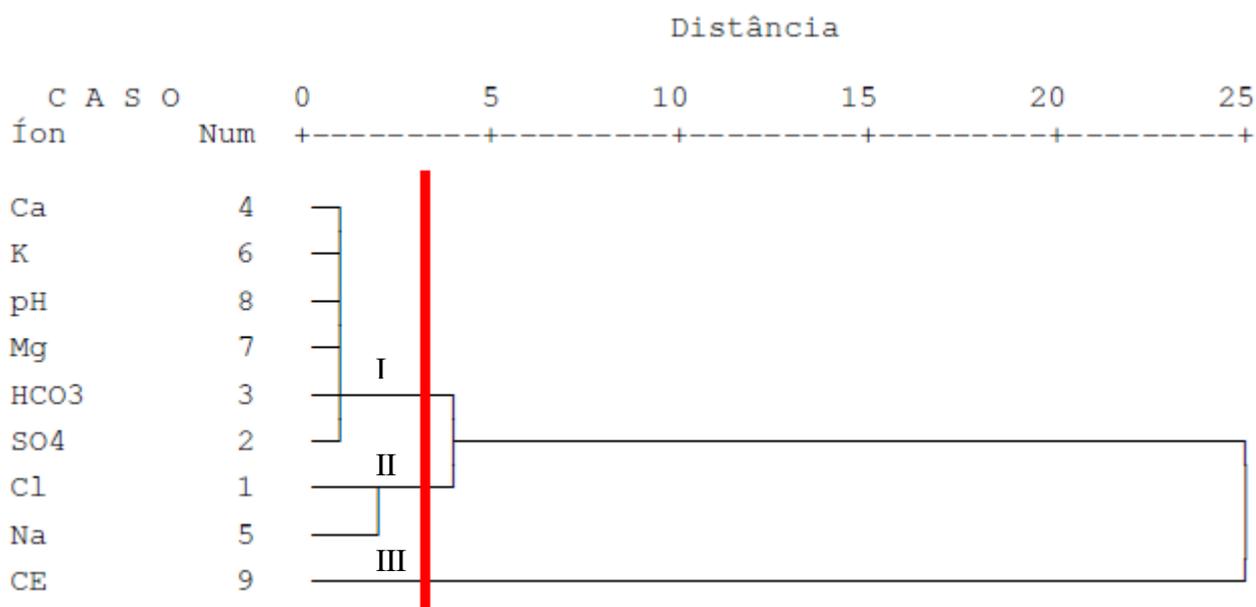


Figura 3 – Dendograma que representa os agrupamentos dos íons principais, pH e CE. Em vermelho o corte do dendograma.

A análise de *cluster* apresentada na Figura 3 mostra que o cloreto e o sódio estão entre os íons que aparecem com maior destaque, indicando que na maioria dos poços nas áreas estudadas ocorre uma forte influência marinha, pois sódio e cloreto são os maiores constituintes químicos da água localizada nos oceanos. Além disso, observamos com clareza a presença de altos valores de condutividade elétrica (CE). Os íons cloreto e sódio juntos são responsáveis por mais de 80% (em porcentagem de massa) dos íons representativos na salinidade da água do mar.

Na figura 4 observa-se o dendograma dos nove parâmetros físico-químicos analisados em 47 poços, onde a partir do ponto de corte, foram identificados 4 agrupamentos. Três poços (ARA 13, CFR 24 e ITA 36) foram retirados da construção do gráfico, já que estavam muito distantes das outras amostras e produzindo resultados desequilibrados. Esses três poços possuem valores altos de cloreto, cálcio, magnésio, sódio, potássio e sulfato. Em relação ao cloreto estão em uma faixa muito mais alta (>7000 mg/l) que os demais poços. Os valores de cálcio, magnésio e potássio também apresentam valores mais altos.

O 1º agrupamento contempla a maior parte das amostras (38 no total) e sua principal característica é ser um grupo heterogêneo em que, por conter grande parte das amostras, por vezes há parâmetros que apresentam uma grande variação. Os valores de cloreto, cálcio, magnésio, sódio, sulfato, bicarbonato e condutividade elétrica estão entre os mais baixos no conjunto de poços analisados. O pH se encontra em uma ampla variação de ácida (4,7) à básica (8,5). O 2º agrupamento contempla cinco amostras e, em relação aos demais grupos,

tem valores baixos de cálcio e sulfato, valores médios de cloreto, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato e condutividade elétrica. O pH desse grupo pode ser descrito como levemente ácido a neutro. O 3º agrupamento possui uma única amostra e seus valores estão que se encontram medianos, em relação aos outros grupos, são cloreto, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato e condutividade elétrica. Já os valores de cálcio e sulfato demonstram ser mais elevados. O pH desse grupo pode ser considerado como neutro. O último agrupamento é representado por três amostras e estas possuem valores altos de cloreto, sódio, potássio; valores médios de cálcio, magnésio, sulfato; o bicarbonato possui valor baixo em relação aos outros grupos. A condutividade elétrica está em uma faixa que podemos considerar como média - alta. O pH novamente se apresenta como levemente ácido à neutro.

Os grupos dois e quatro são os que mais apresentam semelhanças entre si: a faixa de valores do pH é praticamente igual, ocorrem semelhanças entre estes grupos com os parâmetros magnésio e sulfato e há uma pequena diferença entre as faixas de valores de condutividade elétrica. Para este parâmetro, os valores da faixa de cada grupo são semelhantes, com apenas uma ligeira discrepância. Os quatro grupos possuem faixas com valores muito próximos em relação ao parâmetro potássio.

O cloreto é o único parâmetro que não pode ser pareado em grupos, pois seus valores em cada grupo diferem muito. O grupo três é o único grupo que não é pareado com os outros grupos, por se tratar de um grupo com apenas uma amostra, a exceção do parâmetro potássio em que ele está reunido junto com os demais grupos.

Quanto à distribuição geográfica desta classificação estatística, objetivo da pesquisa, observou-se que todos os poços de Cabo Frio e Saquarema permanecem juntos e agrupados; os poços de Rio das Ostras e Itaipuaçu estão quase todos juntos a exceção de um poço em cada município. Porém, as amostras de Rio das Ostras e Itaipuaçu encontram-se no mesmo grupo das amostras de Cabo Frio e Saquarema.

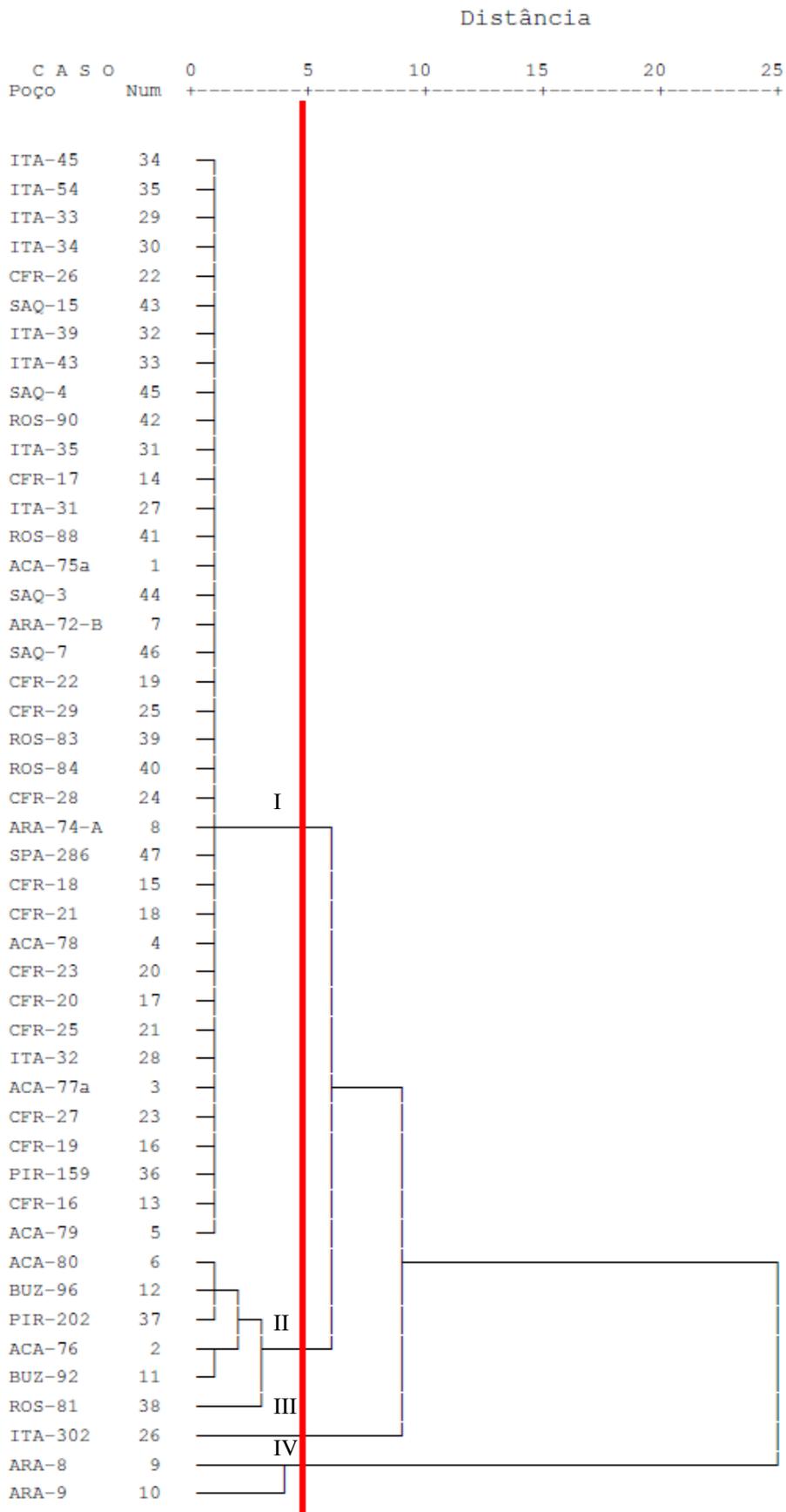


Figura 4 – Dendrograma que representa os agrupamentos dos poços. Em vermelho o corte do dendrograma.

## CONCLUSÕES

Observou-se que os íons que possuem maior destaque são o cloreto e o sódio, juntamente com a condutividade elétrica. Este resultado pode ser considerado é normal, já que trata-se de uma região de aquíferos costeiros; é evidente, portanto, a forte influência marinha sobre os aquíferos da região.

Todos os municípios citados tiveram pelo menos um poço representativo da localidade. Os três poços retirados (ITA – 36, CFR – 24 e ARA – 13) da análise final apresentam os valores mais altos de condutividade elétrica, cloreto e sódio dentre os cinquenta poços analisados. Entre os poços de Cabo Frio e Araruama uma possível explicação para a similaridade de resultados seria a lagoa de Araruama, hipersalina, geograficamente situada entre estes dois municípios fluminenses podendo haver influência deste corpo lagunar.

Análises e técnicas estatísticas são ferramentas de grande valia no estudo das características hidrogeoquímicas dos aquíferos em geral e do litoral leste do Rio de Janeiro em particular. Sua utilização, porém, necessita de um refinamento, com a seleção de um maior número de amostras e melhor correlação hidrogeológica para que em trabalhos futuros os agrupamentos sejam feitos com parâmetros em faixas de valores mais uniformes, sem que haja faixas muito extensas.

A caracterização da área de estudo se mostrou satisfatória, mas também pode ser aprimorada em trabalhos que a utilizem como ferramenta. Contudo não foi possível a determinação da “assinatura” hidrogeoquímica de cada aquífero, pois em um mesmo agrupamento observamos poços de municípios relativamente distantes e de background hidrogeológico não análogo. Em trabalhos futuros, será utilizada a ferramenta em apenas uma localidade, o município de Maricá, distrito de Itaipuaçu para observação das características locais em relação às regionais.

## BIBLIOGRAFIA

Alves, M.G. 2000. Diagnóstico da Região Oceânica de Niterói e distrito de Inoã – Maricá (RJ) Uma visão por Geoprocessamento e Mapeamento Geológico – Geotécnico. Tese de Doutorado – Departamento de Geologia – UFRJ. Tese de Doutorado, 235p.

Cloutier, V; Lefebvre, R; Therrien, R & Savard, M.M 2008 Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system *Journal of Hydrology*

- Irawan, D.E, Puradimaja, D.J, Notosiswoyo, S & Soemintadiredja, P. 2009  
Hydrogeochemistry of volcanic hydrogeology based on *cluster* analysis of Mount Ciremai,  
West Java, Indonesia Journal of Hydrology
- Menezes, J.M.; Silva Jr., G.C; Santos, R.T. 2007. Hidrogeoquímica de aquíferos fraturados:  
estudo de caso na bacia hidrográfica do rio são domingos, noroeste do estado do Rio de  
janeiro *Águas Subterrâneas*, v.21, n.02, p.79-92.
- Menezes, J.M. 2009. Hidrogeoquímica De Aquíferos Fraturados No Noroeste Fluminense:  
Bacia Hidrográfica Do Rio São Domingos – RJ Tese de Doutorado
- Reghunath, R.;Sreedhara Murthy, T.R. & Raghavan, B.R. 2002 The utility of multivariate  
statistical techniques in hydrogeochemical studies:an example from Karnataka, India *Water  
Research* 36
- Silva Jr., G.C. *et al.* 2005. ACOST-RIO: Estudo da Intrusão Marinha em Aquíferos Costeiros  
Entre os Municípios de Niterói e Rio das Ostras – RJ. PADCT-FINEP. Relatório Técnico 154  
p. UFRJ, Rio de Janeiro.
- Vidal, A.C.& Chang, C.H. 2002 Caracterização hidroquímica dos aquíferos da bacia de  
Taubaté *Revista Brasileira de Geociências*, Volume 32 (2):267-276.