



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 469

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E ISOTÓPICA
(⁸⁷Sr / ⁸⁶Sr) DOS SISTEMAS AQUÍFEROS BARREIRAS E
PIRABAS SUPERIOR NOS MUNICÍPIOS DE CASTANHAL E
SANTA MARIA DO PARÁ, ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada por:

IGOR RAFAEL FURTADO DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. MARCO ANTONIO GALARZA TORO (UFPA)

**BELÉM
2015**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Silva, Igor Rafael Furtado da, 1982-

Caracterização hidrogeoquímica e isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) dos sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas Superior nos municípios de Castanhal e Santa Maria do Pará, Estado do Pará / Igor Rafael Furtado da Silva. – 2014

x, 71 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marco Antonio Galarza Toro

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2015.

1. Hidrologia - Pará . 2. Química da água - Pará. 3. Aquíferos - Pará. I. Título.

CDD 22. ed. 551.49098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E ISOTÓPICA
(⁸⁷Sr / ⁸⁶Sr) DOS SISTEMAS AQUÍFEROS BARREIRAS E
PIRABAS SUPERIOR NOS MUNICÍPIOS DE CASTANHAL E
SANTA MARIA DO PARÁ, ESTADO DO PARÁ**

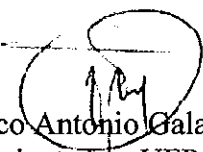
DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

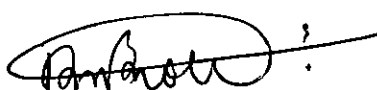
IGOR RAFAEL FURTADO DA SILVA


**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.**

Data de Aprovação: 30/ 09 / 2015

Banca Examinadora:


Prof. Marco Antonio Galarza Toro
(Orientador - UFPA)


Prof. Daniel Marcos Bonotto
(Membro - UNESP)


Prof. Candido Augusto Veloso Moura
(Membro-UFPA)

Dedico este Trabalho ao Espírito Santo, meu verdadeiro amigo e fonte de sabedoria e à minha família, uma das fontes pelo qual Deus revela a mim o seu Amor diariamente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Pai pela graça a mim concedida através dos meios e fins alcançados para a realização desta maravilhosa obra.

Meus sinceros agradecimentos a meus pais, minha esposa, minhas filhas, meu genro, minha cunhada, meus sobrinhos, meus outros familiares e amigos de oração, que fizeram tudo o que podiam para me ajudarem a sair do coma e a terminar este trabalho.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida ao longo do trajeto de criação e desenvolvimento do Mestrado.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica pelo custeio de diárias e ajuda de custo para as campanhas de coleta de amostras, o qual foi imprescindível para a aquisição de dados desta dissertação.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. Marco Antonio Galarza Toro, pela sua inestimável companhia, orientação e companheirismo, sendo para mim considerado mais que um orientador e sim um grande amigo, por meio de quem tenho absorvido grandes pérolas do conhecimento científico.

Agradeço a Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências, sobretudo ao Laboratório de Geologia Isotópica (PARÁ-ISO) na pessoa do prof. Dr. Cândido Augusto Veloso Moura, pela infraestrutura disponibilizada e atenção conferida durante o processo de obtenção de dados.

Agradeço ao Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa, pela autorização de uso dos laboratórios de Cromatografia, Hidroquímica e Análises Químicas para a realização das análises hidrogeoquímicas, assim como utilização de reagentes, materiais e corpo técnico para obtenção de dados e desenvolvimento da respectiva dissertação.

Agradeço ao meu amigo Lúcio Filho pela inestimável ajuda prestada nas coletas de campo.

Agradeço ao meu amigo Thiago Gomes pela ajuda prestada nas análises hidrogeoquímicas e isotópicas.

Meus comoventes agradecimentos aos Srs. Neutom e Ney, Gestores da Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA nos municípios de Castanhal e Santa Maria do Pará e aos técnicos pela autorização e auxílio nas coletas feitas nos poços da referida empresa, necessários para a conclusão deste trabalho.

“A sabedoria é a coisa principal; adquira, pois, a sabedoria; sim, com tudo o que possuiis adquira o entendimento”.

Provérbios 4:7

“Pois, enquanto os judeus pedem sinal, e os gregos buscam sabedoria, nós pregamos a Cristo crucificado, que é escândalo para os judeus, e loucura para os gregos, mas para os que são chamados, tanto judeus como gregos, Cristo, poder de Deus, e sabedoria de Deus”.

1 Coríntios 1:22-24

RESUMO

A partir da década de 70 estudos geológicos e de sensoriamento remoto realizados no nordeste do Estado do Pará identificaram feições e estruturas tectônicas que caracterizaram o processo neotectônico nesta região. Investigações hidrogeológicas na Região Metropolitana de Belém e suas adjacências também foram realizadas objetivando a caracterização das águas dos sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas (Pirabas Superior e Inferior), além de avaliar a possibilidade de mistura entre estes aquíferos por meio de sistemas de falhas e fraturas juntamente com o grau de vulnerabilidade a que estes estão sujeitos em relação à ação antropogênica. Paralelamente às investigações hidrogeoquímicas, estudos utilizando a assinatura isotópica de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) em águas subterrâneas têm sido realizados objetivando caracterizar as fontes de Sr para cada sistema aquífero, suas histórias geoquímicas e o potencial de mistura de águas entre eles. Dessa forma, foram realizados estudos da composição isotópica de estrôncio, bem como análises hidrogeoquímicas nas subáreas de Castanhal e Santa Maria do Pará, visando à caracterização desses sistemas aquíferos, além da detecção de eventuais misturas caso nelas ocorram. Os resultados hidrogeoquímicos revelaram características distintas entre os sistemas aquíferos estudados, destacando-se os parâmetros pH (3,52 a 5,97 no Sistema Barreiras; 6,17 a 6,60 no Sistema Pirabas Superior), Condutividade Elétrica (45,50 a 193,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no Barreiras; 133,80 a 194,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no Pirabas Superior), HCO_3^- (até 32,88 mg/L no Sistema Barreiras; 89,10 a 117,15 mg/L no Sistema Pirabas Superior), Cl^- (3,87 a 40,50 mg/L no Barreiras; 3,33 a 6,32 mg/L no Pirabas Superior), Na^+ (1,00 a 18,55 mg/L no Sistema Barreiras; 1,35 a 2,55 mg/L no Sistema Pirabas Superior), Mg^{2+} (até 1,26 mg/L no Barreiras; 2,03 a 2,81 mg/L no Pirabas Superior), Ca^{2+} (até 5,14 mg/L no Barreiras; 21,30 a 27,38 mg/L no Pirabas Superior) e Sr^{2+} (0,0065 a 0,0874 mg/L no Barreiras; 0,2129 a 0,2679 mg/L no Pirabas Superior). Estudos estatísticos mostraram boas correlações entre os sistemas aquíferos ($\geq 0,7$), principalmente durante o período chuvoso. A partir da análise dos diagramas de Piper verificou-se que o Aquífero Barreiras possui predominantemente águas Cl^- - Na^+ , sendo estas influenciadas pela contribuição das águas meteóricas e pela ação antropogênica, apresentando valores de pH ácidos, em torno de 4,7 e alta vulnerabilidade. As águas do Sistema Aquífero Pirabas Superior são majoritariamente HCO_3^- - Ca^{2+} , sendo esta fácies hidroquímica fortemente influenciada pela dissolução do carbonato, tendo um pH com valores acima de 6,0 e com menor vulnerabilidade em relação a ação antrópica. Durante o período seco os resultados isotópicos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mostraram que as amostras do Sistema Aquífero Barreiras são mais radiogênicas

(0,712716 a 0,723881) que a amostra do Sistema Aquífero Pirabas Superior (0,706080 a 0,709063). No período chuvoso ocorreu o processo de homogeneização das razões isotópicas dos sistemas aquíferos em estudo. Nas amostras do Sistema Aquífero Barreiras houve uma significativa diminuição das razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,712716 a 0,723881 para uma faixa de 0,704239 a 0,709957, ficando estes valores semelhantes aos encontrados nas águas do Sistema Aquífero Pirabas Superior. Nos diagramas de composição dos principais íons (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) contra o cloreto (Cl^-) estes apresentaram grande variação indicando possivelmente a presença de mais de dois membros finais no processo de mistura destas águas. O tratamento estatístico multivariado (PCA), juntamente com o diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $1/\text{Sr}$ mostraram uma tendência de mistura entre estes aquíferos e as águas meteóricas durante o período chuvoso. O modelamento hidrogeoquímico (diagrama de Schoeller) indicou que o grau de mistura das águas do Aquífero Pirabas Superior no Barreiras está em torno de 10% durante o período chuvoso. Em concordância com os estudos isotópicos e hidroquímicos e tomando como base a estruturação neotectônica existente na Região Metropolitana de Belém e suas adjacências, sugerem-se processos de mistura entre os sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas Superior principalmente no período chuvoso. A falta de um sistema de planejamento e gerenciamento do uso dos mananciais subterrâneos nos municípios de Castanhal e Santa Maria do Pará, assim como em toda a Região Metropolitana de Belém, alertam para o perigo de contaminação do Sistema Aquífero Pirabas Superior por ação antropogênica, o qual representaria a melhor alternativa para o abastecimento público da população de Belém e suas adjacências com águas de excelente qualidade em relação à potabilidade para o consumo humano.

PALAVRAS-CHAVE: ISÓTOPOS DE ESTRÔNCIO, HIDROGEOQUÍMICA, AQUÍFEROS BARREIRAS E PIRABAS SUPERIOR

ABSTRACT

Geological surveys and remote sensing investigations in northeastern Pará State identified features and tectonic structures that characterized the neotectonic process in this region. Hydrogeological investigations in the Metropolitan Region of Belém and its surroundings were also held with the objective of characterizing the waters of the Barreiras and Pirabas (Lower Pirabas and Upper Pirabas) systems, and to evaluate the possibility of a mix between these aquifers through faults and fractures systems and the degree of their vulnerability in relation to anthropogenic inputs. Alongside the hydrogeochemical investigations, studies using isotopic signature of strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in groundwater have been performed in order to characterize the Sr sources for each aquifer system, their geochemical histories and the potential water mixture between them. Thus, studies were carried out in the isotopic composition of strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) and hydrogeochemical analyzes in subareas from Castanhal and Santa Maria do Pará, aimed at the characterization of these aquifer systems, as well as detection of any possible case mixtures occur among them. The hydrogeochemical results revealed distinct features between aquifer systems studied, highlighting the parameters pH (3.52 to 5.97 in Barreiras System; 6.17 to 6.60 in Upper Pirabas System), Electrical Conductivity (45.50 to 193.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in Barreiras; 133.80 to 194.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in Upper Pirabas), HCO_3^- (up to 32.88 mg/L Barreiras; 89.10 to 117.15 mg/L in Upper Pirabas System), Cl^- (3.87 to 40.50 mg/L Barreiras; 3.33 to 6.32 mg/L in Upper Pirabas), Na^+ (1.00 to 18.55 mg/L in Barreiras System; 1.35 to 2.55 mg/L Pirabas Upper System), Mg^{2+} (up to 1.26 mg/L Barreiras, from 2.03 to 2.81 mg/L in Upper Pirabas), Ca^{2+} (up to 5, 14 mg/L in Barreiras, from 21.30 to 27.38 mg/L in Upper Pirabas) and Sr^{2+} (0.0065 to 0.0874 mg/L in Barreiras; 0.2129 to 0.2679 mg/L in Upper Pirabas). Statistical studies have shown good correlations between the aquifers (≥ 0.7), especially during the rainy season. According to the analyzes of Piper diagrams it was found that the Barreiras aquifer has predominantly Cl^- - Na^+ waters, which are influenced by the contribution of meteoric water and the anthropogenic action, with pH values acids around 4.7 and high vulnerability. The waters of the Upper Pirabas Aquifer System are mostly HCO_3^- - Ca^{2+} , being this hydrochemical facies strongly influenced by the dissolution of carbonate, having a pH higher than 6 and less vulnerability to human action. Isotopic results showed that the Barreiras Aquifer samples are more radiogenic (0.712716 to 0.723881) than the sample of the Upper Pirabas Aquifer System (0.706080 to 0.709063) during the dry season. During the rainy season occurred the homogenization process of

isotopic ratios of aquifer systems under study. Samples of the Barreiras Aquifer System there was significant decrease in values of isotopic the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios from 0.712716 to 0.723881 for a range from 0.704239 to 0.709957, getting these values similar to those found in the waters of the Upper Pirabas Aquifer System. Composition diagrams of the major ions against chloride varied greatly, possibly indicating the presence of more than two end members in these waters mixing process. The multivariate statistical analysis (PCA), together with the diagram $1/\text{Sr}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ showed a trend mixture between these aquifers and the meteoric waters during the rainy season. The hydrogeochemical modeling (Schoeller diagram) indicated that the degree of mixing between of the waters of the Upper Aquifer Pirabas and Barreiras is around 10% during the rainy season. Isotopic and hydrochemical studies together with on the existing neotectonic structure in the Metropolitan Region of Belém and its surroundings suggest mixing processes between Barreiras and Upper Pirabas aquifers systems, mainly in the rainy period. The lack of a planning and management system of the use of groundwater sources in the Castanhal and Santa Maria do Pará towns, as well as throughout the Metropolitan Region of Belém, alert to the risk of contamination of the Upper Pirabas Aquifer System by anthropogenic action, which represent the best alternative for public supply of the population of Belém and its surroundings with a excellent water quality with regard to portability for human consumption.

KEYWORDS: STRONTIUM ISOTOPES, HYDROGEOCHEMISTRY, UPPER PIRABAS AND BARREIRAS AQUIFERS