

Mudanças hidrodinâmicas e suas consequências na hidroquímica da água induzida após três décadas de exploração intensa em um aquífero cárstico Mediterrânico.

Bicalho C.C.*², Batiot-Guilhe C.¹, Seidel J.L.¹, Van Exter S., Silva-Filho E.², Jourde H.¹

Abstract

The Lez karst spring, located in the Mediterranean basin (France), supplies drinking water to the metropolitan area of Montpellier since the 19th century. Since 1981, an intense pumping is being performed directly in the main conduit with a maximum exploitation flow rate of 1,700 l/s. To improve the understanding of groundwater origins and circulation in this karst system, as well as the impact of three decades of intense water exploitation, groundwater samples have been collected during various hydrologic conditions since March 2006.

A previous hydrochemical study on the Lez karst system had been carried out before the installation of the pumping plant. This dataset was compared to the present one to identify possible changes on groundwater hydrochemistry. The results of this analysis indicate the existence of historical changes in water hydrogeochemistry and evidence a decrease of the deep compartment participation to the Lez spring outflow. This change in spring water hydrogeochemistry may be attributed to the intense pumping of the karst system and expresses the direct consequences of anthropogenic forcing on the overall functioning of the aquifer. This study aims to analyze the differences, to understand the water chemistry changes and to better foresee the aquifer evolution for the future.

Key words: karst, natural tracing, water exploitation.

Resumo

A nascente do Lez, localizada na bacia do Mediterrâneo (sul da França), fornece água potável para a região metropolitana de Montpellier desde o século 19. Desde 1981, um bombeamento intensivo tem sido realizado diretamente no conduto principal a uma vazão de cerca de 1.700 l/s. Para melhorar a compreensão das origens da água subterrânea e da dinâmica de circulação neste sistema cárstico, bem como o impacto de três décadas de exploração intensa de água subterrânea, amostras de água foram coletadas durante diversas condições hidrológicas desde 2006.

Um estudo hidroquímico anterior nesse mesmo sistema cárstico foi realizado antes da instalação do sistema de captação de água, em 1972. Estes dados foram comparados com os dados atuais para identificar possíveis mudanças na hidroquímica das águas subterrâneas. Os resultados desta análise indicam a existência de mudanças históricas na hidrogeoquímica da água e evidencia uma diminuição da participação do compartimento profundo na nascente do Lez. Esta mudança na hidrogeoquímica da água pode ser atribuída ao intenso bombeamento do sistema cárstico e expressa as consequências diretas do impacto antropogênico sobre o funcionamento global do aquífero. Este estudo visa analisar as diferenças, entender as mudanças químicas da água para melhor prever a evolução do aquífero no futuro.

Palavras-chave: Carste, traçagem natural e exploração de água subterrânea.

(1) *HydroSciences Montpellier, UMR 5569, CNRS, UMI, UM2, IRD, Université Montpellier2 CC MSE, Place E. Bataillon, 34095 MONTPELLIER cedex 5, France*

(2) *Universidade Federal Fluminense – UFF. 24020-141, Centro – Niterói – Rio de Janeiro – Brazil.*

* Tel: +55(61-3307-1113) – fax: +55 (55-61-33474062) E-mail: ccbicalho@gmail.com

1. Introdução

Aquíferos cársticos fornecem água potável para cerca de um quarto da população mundial. Eles cobrem mais de 35% do território francês e fornecem até 30% de toda água potável neste país [1]. Aquíferos carbonáticos fissurados hospedam imensas quantidades de água subterrânea de alta qualidade. Melhorar a gestão e a proteção das águas subterrâneas é de alta prioridade tanto em países industrializados quanto em países em desenvolvimento [2].

A nascente do Lez, principal exutório do sistema cárstico apresentado neste estudo, fornece água potável para a região metropolitana de Montpellier (França) desde o século 19. Desde 1981, um bombeamento intensivo tem sido realizado diretamente no conduto principal desta nascente, a partir de uma estação de bombeamento escavada na rocha, localizada 48 m abaixo do nível da nascente do Lez, a uma vazão média de bombeamento de 1.300 l/s e máxima de 1.700 l/s.

O presente trabalho analisa e discute as alterações induzidas na composição química da água na nascente do Lez como um resultado da exploração intensiva deste aquífero desde 1981, comparando a hidroquímica das águas subterrâneas da época recente (2006 – 2010) aos dados obtidos em estudo realizados em 1973-1974 [3], antes do início do bombeamento intensivo.

2. Materiais e Métodos

A nascente Lez é uma das principais nascentes cársticas na França e está localizada a 15 km ao norte de Montpellier (França). A bacia hidrogeológica da nascente do Lez tem uma área de cerca de 380 km² [4], e está localizada entre os vales dos rios Hérault e Virdoule. Como uma grande parte da bacia hidrogeológica é relativamente impermeável, devido à presença de mármore e calcários marnosos do Valanginiano, a área de recarga difusa da nascente do Lez cobre apenas 150 km² [3]. O sistema cárstico do Lez descarrega também em outros exutórios temporários, como o Lirou, Restinclières, Fleurettes e Gour Noir (Figura 1). A litologia do sistema cárstico Lez corresponde a calcários massivos do Jurássico Superior e do Cretáceo Inferior, com 650-1100 m de espessura. Por conseguinte, o sistema do Lez é considerado como um sistema parcialmente confinado.

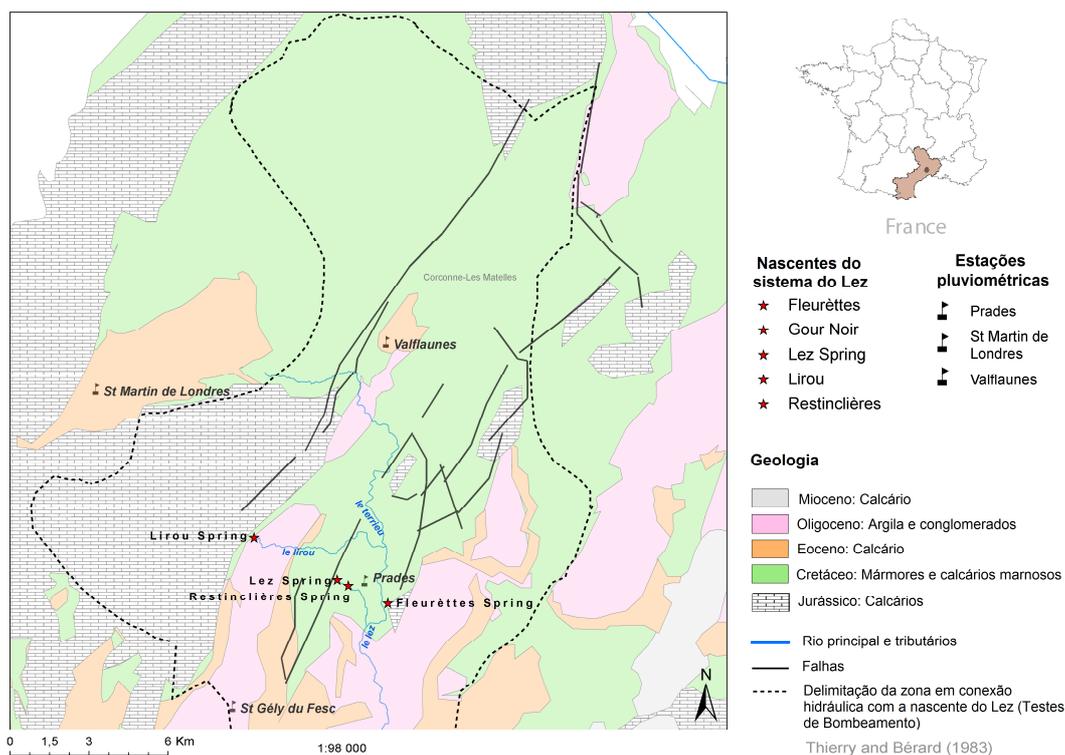


Figura 1 – Mapa hidrogeológico do sistema cárstico do Lez, contendo a localização dos pontos de amostragem e dos pluviômetros.

A precipitação total anual é muito variável de ano para ano: 1989 foi o ano mais seco, durante este período choveu 474 mm, e em 1972 foi o ano mais chuvoso, com 1.620 mm de chuva. As amostras foram coletadas na nascente do Lez duas vezes por mês, de março de 2006 até maio de 2010, e diariamente durante as cheias que ocorreram neste período. Os elementos maiores (Br^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) foram analisados por cromatografia iônica (DIONEX® ICS 1000). Os elementos-traço (Li, B, Al, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Cd, Ba, Pb e U) foram analisadas usando Q-ICPMS X série II Thermo Fisher® com erro menor que 8%. Marjolet e Salado (1976) realizaram amostragens na nascente do Lez de março de 1973 a maio de 1974.

3. Resultados e discussão

As características químicas distintas observadas nas águas subterrâneas que fluem na nascente do Lez sugerem a provável ocorrência de múltiplas origens para estas, com prováveis influências de diferentes litologias na mistura que compõe estas águas subterrâneas. Águas subterrâneas com altas ou baixas mineralizações parecem estar relacionados respectivamente às águas subterrâneas profundas e às águas de infiltração superficial. As condições hidrológicas induzem diferentes

proporções de participação dos diferentes componentes da mistura (“*end-members*”) que compõem as águas subterrâneas da nascente do Lez [4].

Apesar das diferenças entre os métodos analíticos, é óbvio que uma evolução química significativa na química das águas ocorreu após o início da exploração intensiva da nascente do Lez, como mostrado pela diferença observada na composição química da água, antes e depois do início do bombeamento intensivo (Figura 2).

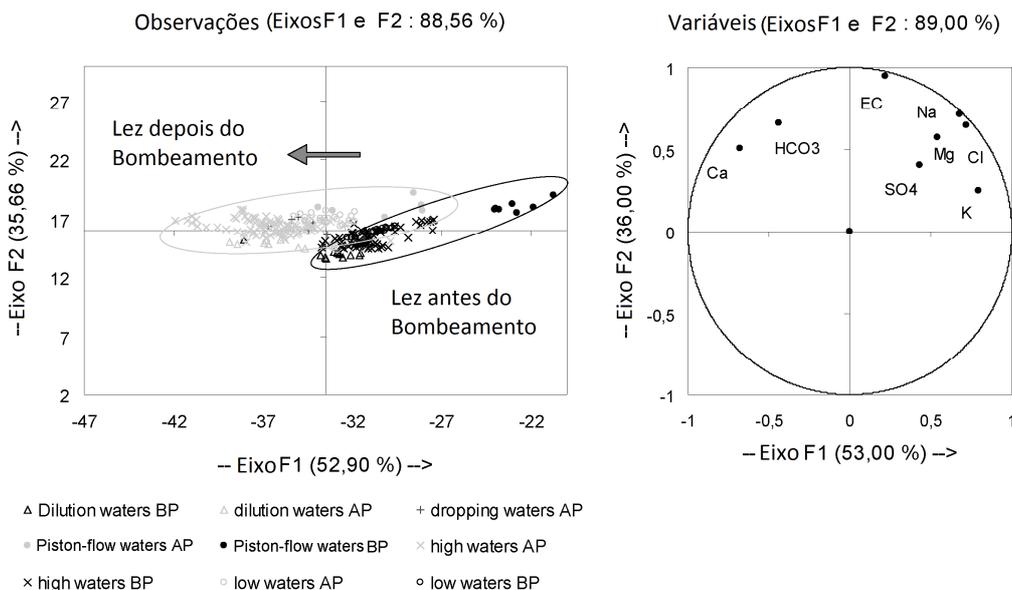


Figura 2 – Resultados de uma Análise Fatorial Discriminante - DFA para os dados da nascente do Lez: BP: Antes do Bombeamento. AP: Depois do bombeamento. “*Piston-flow*”: Fluxo pistão; “*Dilution waters*”: Águas diluídas; “*High waters*”: período da cheia, “*Low waters*”: Estiagem.

Os atuais níveis globais mais elevados de pCO_2 observados nas águas da nascente induzem à um aumento nas concentrações de $Ca-HCO_3$, e poderiam indicar que os processos de carstificação são hoje mais intensos do que eram antes do início da exploração intensiva do aquífero. Isto pode, em um longo prazo, causar um aumento das espessuras dos condutos na matriz carbonatada.

O intenso bombeamento levou provavelmente a uma diminuição da participação do compartimento profundo no fluxo de água da nascente do Lez, como resultado, a concentração em Cl diminuiu desde que a exploração intensiva foi iniciada. Esses resultados destacam as consequências diretas da pressão antropogênica sobre o funcionamento global do aquífero.

4. Conclusão

A redução global da pressão hidráulica dentro do aquífero, especialmente na proximidade da nascente do Lez, modificou a circulação geral das águas subterrâneas no aquífero. Isso consequentemente mudou a mistura que compõe a água subterrânea graças à indução à participação de diferentes proporções nos múltiplos compartimentos que contribuem ao fluxo da nascente. Aparentemente, a intensa mobilização causada pelo bombeamento de água a partir de níveis mais superficiais no aquífero, em vias de circulação provavelmente relacionada a um menor tempo de residência, tem uma influência direta sobre a vulnerabilidade do aquífero (Figura 3).

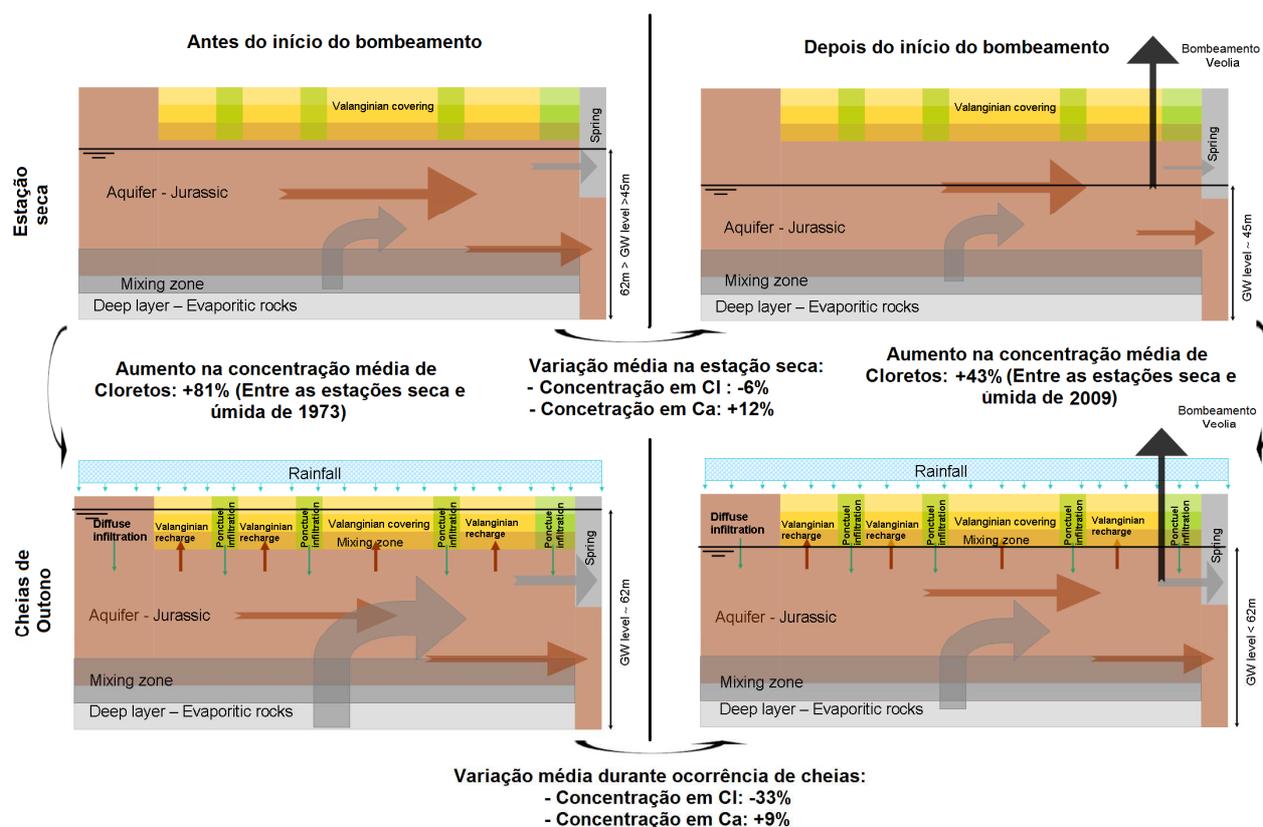


Figura 3- Esquerda: Modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas do aquífero Lez antes do bombeamento. Direita: Modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas do aquífero Lez depois de bombeamento.

5. Referencias

1. Plagnes, V. and M. Bakalowicz, *The protection of a karst water resource from the example of the Larzac karst plateau (south of France): a matter of regulations or a matter of process knowledge?* Engineering Geology, 2002. 65(2-3): p. 107-116.
2. COST ACTION 65, *Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas*, E. 16457, Editor. 1995, European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development: Brussels. p. 446p.
3. Marjolet, G. and J. Salado, *Contribution à l'étude de l'aquifère karstique de la source du Lez (Hérault). Etude du chimisme des eaux de la source du Lez et de son bassin Tome IX – FASC II.*, in *Mémoire du centre d'études et de recherches géologiques et Hydrogéologiques 1976*, Université des sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier 2): Montpellier p. 101.
4. Bicalho, C.C., *Hydrochemical characterization of transfers in karst aquifers by natural and anthropogenic tracers. Example of a Mediterranean karst system, the Lez karst aquifer (Southern France)*, in *Hydrogeology*. 2010, Institute of Sciences and Industries of Life and Environment - Agro Paris Tech: Montpellier. p. 133.