

PARÂMETROS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CÁRSTICA NO BRASIL E EM MINAS GERAIS: ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS FUTURAS

José Henrique Izidoro Apezteguia Martinez

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Geografia
Tratamento da Informação Espacial, Belo Horizonte, MG, Brasil
jose.hiam@gmail.com

Themístocles Raphael Gomes Sobrinho

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Geografia
Tratamento da Informação Espacial, Belo Horizonte, MG, Brasil
themistocles.sobrinho@ifap.edu.br

RESUMO

Com um sistema hídrico particular, o carste vem sendo estudado cientificamente com mais intensidade desde pelo menos final do século XIX. O desafio de discutir a evolução epistemológica dos parâmetros usados na caracterização das águas cársticas foi o motivador que culminou na realização desta pesquisa. A inexistência de publicações a cerca da totalidade dos estudos realizados no mundo, associado à necessidade de compreender o(s) caminho(s) que as pesquisas realizadas no Brasil e no Estado de Minas Gerais estão sendo direcionadas são a problemática central deste trabalho. Como esboço metodológico na tentativa de alcançar o mérito científico, buscou-se a pesquisa bibliográfica para a conclusão deste estudo. Para a execução do levantamento bibliográfico foi realizada uma pesquisa, que chegou ao número de 63 artigos consultados para a caracterização de estudos sobre águas cársticas nos seguintes países: Itália, Eslovênia, França, EUA e China. Os parâmetros nacionais foram extraídos do portal de Periódicos da CAPES, da Revista Brasileira de Recursos Hídricos e do Google Acadêmico. No Brasil os parâmetros mais utilizados foram pH, temperatura, concentração de cálcio (Ca), concentração de magnésio (Mg) e Dureza. Em Minas Gerais, prevaleceram para a caracterização das águas cársticas a condutividade, pH, temperatura, concentração de nitrogenados (NO) e dureza.

Palavras-chave: Carste. Parâmetros. Caracterização das águas. Recursos Hídricos. Brasil.

PARAMETERS FOR THE CHARACTERIZATION OF KARST WATER IN BRAZIL AND MINAS GERAIS: STATE OF ART AND FUTURE PERSPECTIVES

ABSTRACT

With a particular water system, karst has been studied scientifically with more intensity since at least the end of the 19th century. The challenge of discussing the epistemological evolution of the parameters used in the characterization of karst waters was the motivators that culminated in this research. The lack of publications on the totality of studies conducted in the world, associated with the need to understand the path (s) that the research carried out in Brazil and the State of Minas Gerais are being addressed are the central problem of this work. As a methodological sketch in the attempt to achieve scientific merit, we searched the bibliographical research for the conclusion of the research. For the execution of the bibliographical survey, a survey was carried out that reached the number of 63 articles consulted for the characterization of studies on karst water in the following countries: Italy, Slovenia, France, USA and China. The national parameters were extracted from the CAPES Periodicals portal, the Brazilian Journal of Water Resources and Google Scholar. In Brazil the most commonly used parameters were pH, temperature, calcium concentration (Ca), concentration of magnesium (Mg) and hardness. In Minas Gerais, the conductivity, pH, temperature, nitrogen concentration (NO) and hardness prevailed for karstic water characterization.

Keywords: Karst. Parameters. Water characterization. Hydric Resources. Brazil.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, a necessidade por mananciais de água potável sempre configurou como recurso indispensável à sobrevivência da vida humana. Como exercício de reflexão pode-se imaginar os diversos conflitos durante a evolução das civilizações em função do domínio e controle de regiões naturais abundantes deste recurso natural. As diferenças de litologia, vegetação e as particularidades locais possibilitavam a reserva de água e a presença humana.

Dentre os diversos tipos de relevo existentes, alguns se destacam por apresentar uma significativa capacidade de armazenamento e transporte hídrico em condições favoráveis ao consumo humano. As paisagens cársticas carbonáticas podem ser incluídas neste conjunto. Por apresentar um alto poder de dissolução da rocha carbonática, a água no carste mostra-se muito mais dinâmica, possibilitando (em alguns casos) maior acesso a esse recurso. Talvez essa característica seja o principal fator de escolha de inúmeras civilizações para a formação do seu território ao longo dessas regiões naturais.

Deve-se ressaltar que a composição química e os aspectos físicos das águas cársticas existentes no mundo são diversificadas em função de vários fatores (e.g. material geológico de origem, características climáticas, tipo de cobertura vegetal, uso e ocupação do solo etc). Desta forma, cada país busca, por meio de legislação própria, o padrão ideal para o uso e consumo das águas provenientes do carste. Entretanto, o conceito de qualidade da água é muito abrangente e pode provocar diferentes interpretações. Assim sendo, neste momento, não é objetivo do trabalho a equiparação dos métodos mundiais existentes sobre a qualidade da água no que se refere ao seu uso e consumo.

O desafio de identificar e de discutir a evolução dos estudos e parâmetros usados na caracterização das águas cársticas, foram os motivadores que justificam a realização desta pesquisa. A inexistência de publicações acerca da totalidade dos estudos realizados no mundo, associado à necessidade de compreender o(s) caminho(s) que as pesquisas realizadas no Brasil e no Estado de Minas Gerais estão sendo direcionadas, configuram-se como a problemática central deste trabalho. Como esboço metodológico para alcançar o mérito científico, buscou-se a fundamentação do trabalho na pesquisa bibliográfica.

Sendo assim, tem-se como objetivo principal a identificação dos principais parâmetros utilizados no processo de caracterização das águas cársticas no Brasil e em Minas Gerais, comparando-os aos parâmetros utilizados nos principais países precursores e produtores do conhecimento científico sobre o carste.

O ESTUDO DO “CARSTE TRADICIONAL” E SUA DINÂMICA

O termo carste deriva do vocabulário alemão “*karst*” e está associado a uma região natural entre a Itália e a Eslovênia. Mundialmente, o carste está distribuído de forma contínua e descontínua, ocupando os cinco continentes existentes, com exceção da Antártica. De acordo com Ford e Williams (2007) “tais formações de rochas calcárias estão presentes entre 10% a 15% da superfície terrestre”, na forma de carste exumado ou encoberto (TRAVASSOS et al., 2011). Em uma atualização estatística, Williams (2008) indicou que as rochas carbonáticas (exocársticas) cobrem cerca de 11% da superfície terrestre, desconsiderando a superfície rochosa encoberta por gelo.

Historicamente, entende-se por “carste” os relevos formados em rochas carbonáticas. Nesse tipo de litologia os processos morfogenéticos são organizados, principalmente, pela dissolução dos carbonatos ao longo do tempo geológico. A utilização do termo “carste tradicional” foi proposta por Andreychouk et al. (2009) para destacar as diferenças fundamentais entre o carste em carbonatos e em outras rochas menos solúveis, que podem ser consideradas por alguns como um tipo de “carste não-tradicional”. Isso ocorre, pois, em outros tipos de rocha é possível identificar feições semelhantes àquelas desenvolvidas no carste tradicional carbonático, embora os processos de gênese sejam distintos no tocante à magnitude e tipo de intemperismo, por exemplo.

Conforme Andreychouk et al. (2009) *apud* Santos et al. (2011) “o carste pode ser definido de forma mais abrangente como um processo de interação entre rochas solúveis e diferentes tipos de água que resultam em feições características tanto em superfície quanto no subterrâneo”. Os autores enfatizam, portanto, a necessidade de classificar os estudos em regiões de “carste tradicional” (carbonatos) e de “carste não tradicional” (arenitos, quartzitos etc).

Em estudos realizados pela Universidade de Auckland (2010), na Nova Zelândia, foram reunidos os trabalhos Ford e Williams em (1989, 2007) sobre a distribuição do carste mundial. Por meio destas publicações, Paul Williams e Yin Ting Fong elaboraram arquivos que indicam um total de 17.655.024 km² de afloramentos cársticos continentais, ou seja, 13,2% da parte superficial da litosfera terrestre.

Os sistemas cársticos podem ser definidos como geossistemas desenvolvidos em terreno composto por formas muito específicas e hidrologia diferenciada que surge da combinação das rochas altamente solúveis que apresentam porosidade secundária (e.g. juntas, diaclases e fraturas) bem desenvolvida. Por essa razão, áreas que apresentam rios subterrâneos, cavernas, dolinas, lapíás e grandes nascentes, por exemplo, diferem-se das demais existentes na superfície terrestre (HARDT, 2008).

Entretanto, considerar a solubilidade isoladamente não é o suficiente para a caracterização de um sistema cárstico, pois a litologia e estrutura da rocha são, igualmente, muito importantes. São, portanto, aspectos-chave para o desenvolvimento de uma rede de drenagem de sub-superfície que desenvolve o sistema como um todo (FORD e WILLIAMS, 2007).

De acordo com Ford e Williams (2007), De Waele (2009) e Stokes et al. (2010), as águas meteóricas tem papel preponderante na formação da maioria dos relevos, entretanto, no carste ela produz duplo efeito sendo elemento fundamental na erosão, bem como na dissolução e transporte de material. A água naturalmente acidificada é formada pela absorção do dióxido de carbono (CO₂) presente no ar e no solo, que a torna cada vez mais agressiva ao percolar por sistemas de juntas e fraturas e, assim, dissolver gradativamente a rocha. Outros elementos tem papel importante na dissolução direta das rochas, mesmo que em menor grau, como outros tipos de ácidos (e.g. húmico, sulfúrico e clorídrico), além dos fatores que diminuem ou aceleram os processos (e.g. temperatura, pressão, clima, presença de outros minerais etc).

Para De Waele (2009), o carste pode ser considerado um sistema tanto aberto quanto fechado, de acordo com a interação das fases da matéria. O sistema será classificado aberto caso a rocha, água e ar possam interagir livremente ao mesmo tempo até alcancem o equilíbrio termodinâmico. Já no sistema fechado, apenas duas fases irão interagir (e.g. rocha-água ou água-ar) até alcançarem o ponto de saturação do CO₂.

O CARSTE NO BRASIL

Por sua antiguidade, o Brasil apresenta formações rochosas com idades que variam do Pré-Cambriano até os depósitos aluviais recentes do Cenozoico. Com exceção das bacias sedimentares terciárias do pantanal mato-grossense, da Amazônia e de trechos do litoral, o território brasileiro desenvolve-se sobre estruturas geológicas antigas. Suas idades variam do Paleozóico ao Mesozóico para bacias meta-sedimentares, e do Pré-Cambriano (Arqueano/Proterozóico) para os terrenos cristalinos da Plataforma Sul-Americana. Entre esses, destacam-se as áreas cratônicas, os cinturões de dobramentos antigos e as bacias sedimentares (SCHOBENHAUS et al., 2003).

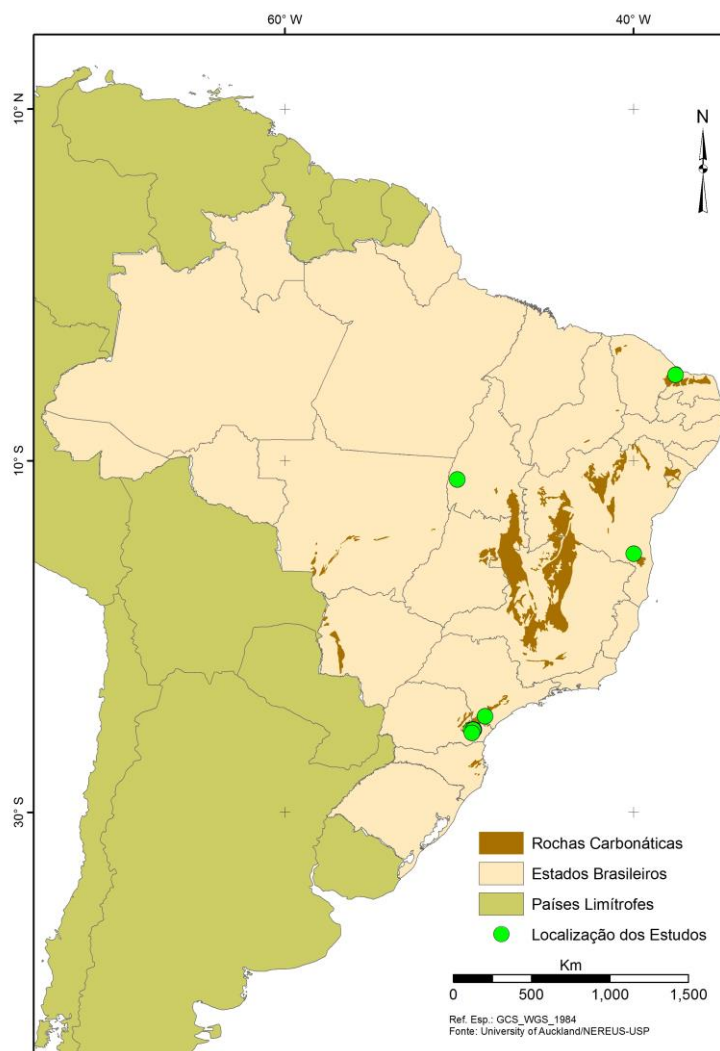
De acordo com Karmann (1994) e Hardt (2004), os principais maciços carbonáticos residuais no Brasil datam do Proterozóico Superior e ocupam uma área estimada entre 5% a 7% do território nacional (Figura 1). Um dos primeiros estudos referente a caracterização das rochas carbonáticas no Brasil ocorreu em 1979, elaborado por Karmann e Sanchez. Com um propósito espeleológico, este estudo identificou cinco regiões favoráveis ao desenvolvimento de feições cársticas, a saber: o Vale do Ribeira, o Grupo Bambuí, a Serra da Bodoquena, o Alto Rio Paraguai e a Chapada de Ibiapaba.

Mais de duas décadas depois desta primeira aproximação, com base no trabalho cartográfico geológico de Schobbenhaus et al. (1981), Auler et al. (2001) identificaram cerca de 14 áreas carbonáticas no Brasil. No tocante ao estado de Minas Gerais o mesmo se destaca em termos de extensão de áreas cársticas em relação ao cenário nacional (Figura 2) por apresentar importantes ocorrências de carbonatos e, conseqüentemente, expressivas áreas cársticas. De acordo com Piló (1997; 1998; 1999), da extensão nacional de aproximadamente 5 a 7%, cabem ao Estado mineiro cerca de 3 a 5%, ou 17.600 a 29.419 km², conforme mencionado por Travassos (2010).

Segundo Auler (2002), o Grupo Bambuí apresenta uma área de 105.200 Km² de afloramentos carbonáticos, o que representa 1,2% da área territorial brasileira. Localizado no Cráton São Francisco, o Grupo Bambuí destaca-se não só pela extensão, mas por apresentar feições típicas do carste tradicional, tais como dolinas, poljes e grandes sistemas aquíferos. Além do Grupo Bambuí,

outras Formações cársticas em carbonatos e dolomitos estão presentes no território mineiro; são eles o Grupo São João Del Rei e a Formação Vazante.

Figura 1: Mapa de localização do Brasil na América do Sul e distribuição de suas áreas cársticas.



Fonte: University of Auckland, USP, (BONACIM, 1996; KARMANN et al., 2007; MELO, 2007; HINDI, 1999; HINDI et al., 2002; FRITZSONS et al., 2003a; 2003b; CRUZ et al., 2005; FRITZSONS et al., 2009; ROCHA et al., 2010; HINDI et al., 2013; OLIVEIRA e MORAIS, 2013; BARRETO et al., 2014.)

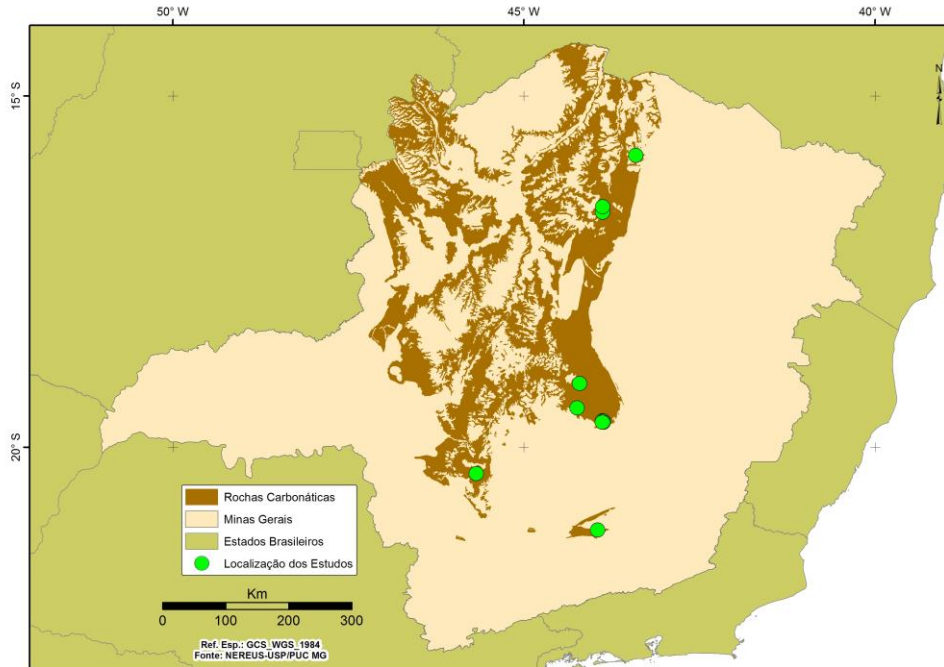
PRINCIPAIS PARÂMETROS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE DA ÁGUA NO CARSTE

Conhecer e estudar o ciclo hidrogeoquímico da água em relevos cársticos é importante, pois é uma questão de permanência e sobrevivência de inúmeras sociedades em todo planeta. As águas provenientes do “carste tradicional” são o mais importante manancial de água potável existente em muitos países, sendo até mesmo considerada por algumas nações uma questão de ordem estratégica.

Para Travassos e Varela (2008) os relevos cársticos são, por natureza, grandes armazenadores de água no endocarste, particularidade que confere a esse tipo de paisagem a característica principal de ser fonte de água potável. Milek e Kishi (2009) afirmam que “a água subterrânea tem um papel importante nesse contexto e apresenta-se, em alguns locais, inclusive como fonte principal de abastecimento de água, como é o caso do estado de Baden-Württemberg, na Alemanha”. De Waele

(2009) ressalta que “em torno de 25% da população mundial vive sobre áreas cársticas e 25% da água potável provem de áreas cársticas”.

Figura 2: Mapa de localização de Minas Gerais e a distribuição de suas áreas cársticas



Fonte: USP, PUC MG, (AULER, 1997; MINARDI e BOMTEMPO, 2002; NUNES et al., 2005; DINIZ, 2006; HADDAD, 2007; MELO, 2007; FELIPPE et al., 2008; DIAS, 2009; CALIJURI et al., 2010; CASTRO, 2011 DUARTE, 2010; VIANA et al., 2011; SILVINO, 2012.)

Os parâmetros utilizados para análise da água cárstica variam de acordo com o objetivo para qual a água se destina. Deve-se, portanto, levar em consideração as características naturais desse tipo de água sem a interferência antrópica descontrolada. Travassos e Varela (2008) ressaltam que “em função da rocha, mais do que qualquer outra variável, o carste é fortemente condicionado por processos hidrogeoquímicos através da água rica em CO₂ e naturalmente acidulada”. Sobre essa afirmação pode-se inferir que os fatores condicionantes (e.g. paleoclima, clima, declividade, estrutura geológica, formas do relevo, profundidade do topo do aquífero, zona de recarga, nível de base hídrico, tipo de cobertura de solo, cobertura vegetal etc) podem contribuir ou interferir na qualidade das águas.

Sendo assim, não se pode generalizar ou mesmo equiparar os parâmetros a serem utilizados mundialmente para a análise da água cárstica. Assim, deve-se refletir que cada país possui leis específicas sobre o uso e o manejo de suas águas sendo, desta forma, responsável por manter suas águas cársticas padrões de qualidade naturais ou aceitáveis.

METODOLOGIA

Para se conhecer os principais parâmetros utilizados no processo de caracterização das águas cársticas em âmbito internacional, é necessário identificar trabalhos produzidos nos países onde o estudo do carste tradicional está em um estágio de conhecimento avançado. Dentre esses países, destacam-se aqueles do centro sul da Europa, pois foi nesta região onde o termo e os estudos sobre esse tipo de relevo tiveram sua origem.

Assim, foi realizado um levantamento preliminar dos estudos sobre águas cársticas nessa região, com foco principal em dois países: a Itália e a Eslovênia. Esses países foram selecionados, pois de acordo com De Waele (2009), 50% das águas eslovenas são provenientes de aquíferos cársticos e a Itália tem

praticamente a metade de seu território desenvolvido em rochas carbonáticas (FORD e WILLIAMS, 2007). Contudo, também deve ser levado em consideração, os estudos realizados em países onde há grande destaque para a Carstologia. Nesse sentido a França se sobressai há muito tempo produzindo trabalhos e pesquisadores renomados como Édouard-Alfred Martel, entre outros (DE WAELE, 2009). Para englobar diferentes abordagens e usos de tecnologia na pesquisa se faz necessário a verificação de estudos onde o avanço tecnológico e a visão sobre o Carste sejam diferentes do âmbito onde o termo foi cunhado. Além disso, as particularidades de cada formação carbonática influenciam os métodos e análise em cada região. Dessa maneira os estudos relacionados às águas cársticas nos EUA e China também foram verificados.

Para a execução desse levantamento bibliográfico foi utilizado a base de periódicos "ScienceDirect". Essa base foi escolhida por apresentar textos provenientes de mais de 2.500 periódicos científicos e 20.000 livros. Essa plataforma de dados bibliográficos, por sua vez, reúne uma base ampla e de alcance global, necessárias para a formulação deste trabalho. Além disso, o ScienceDirect disponibiliza artigos do Journal of Hydrology, periódico A1 para a área da Geografia, segundo a Plataforma WebQualis da CAPES (2016). Este levantamento chegou ao número de 63 artigos utilizados, dentre os consultados e conferidos sobre sua área de estudo estar sobre regiões cársticas. Assim para a caracterização de estudos sobre águas cársticas na Itália (10 artigos), Eslovênia (9 artigos), França (14 artigos), EUA (15 artigos) e China (15 artigos).

Em cada artigo pesquisado foram extraídas as informações dos parâmetros mais utilizados para a caracterização físico-química da água para, posteriormente, serem organizadas na forma de gráficos para melhor avaliação.

Para se conhecer os principais parâmetros nacionais utilizados no processo de caracterização das águas cársticas, foi adotado o mesmo procedimento utilizado para as águas internacionais. O tema foi alvo de análise na ferramenta de busca do portal de periódicos CAPES, e para melhorar o alcance da pesquisa, o assunto também foi utilizado na Revista Brasileira de Recursos hídricos como filtro para seus artigos. Este procedimento também foi executado na plataforma do Google acadêmico, que se mostrou excelente ferramenta de pesquisa para o tema direcionado.

Para se conhecer os principais parâmetros utilizados no processo de caracterização das águas cársticas em âmbito do estado de Minas Gerais o procedimento efetuado para os parâmetros internacionais e nacionais foram repetidos. O tema foi alvo de pesquisa novamente no portal de periódicos da CAPES, Revista Brasileira de Recursos hídricos, Google e BDTD (Banco de Teses e Dissertações) das principais Instituições de Ensino Superior do estado.

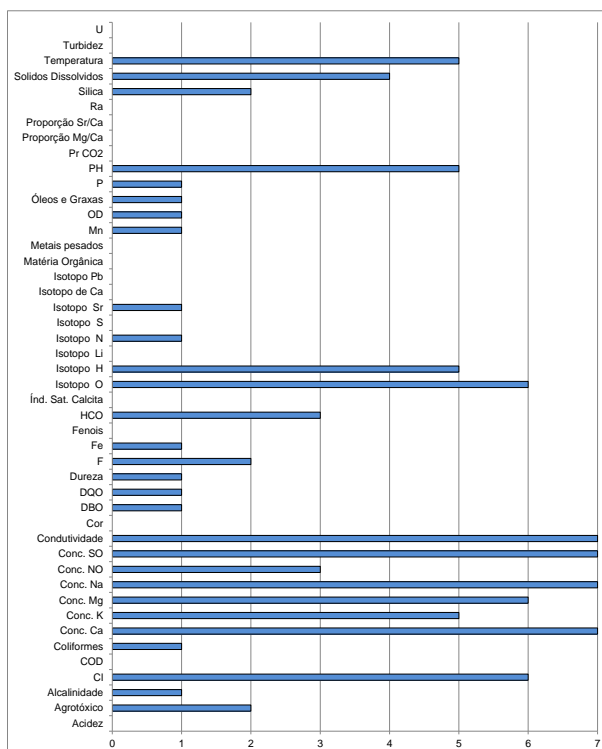
RESULTADOS

A seguir são apresentados os gráficos confeccionados (Figura 3, 4, 5, 6, 7) utilizando as informações extraídas dos respectivos estudos.

Ao analisar os gráficos fica visível a repetição de alguns parâmetros nos estudos de cada país, como também é possível observar quais variáveis se repetem entre os mesmos. A presença, repetição e avaliação das concentrações de sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), cloro (Cl), nitrogenados (NO), anidridos de enxofre (SO) e grupos formilo (HCO) ficam explicitas quando os dados são ordenados e comparados dessa maneira. Este grupo de elementos são chamados de cátions e ânions maiores, especificamente os cátions são Na, K, Mg, Ca e os ânions Cl, NO, SO e HCO. Esses elementos são as principais fontes poluidoras oriundas de fertilizantes e esgoto doméstico (MIRLEAN e OSINALDI, 2008).

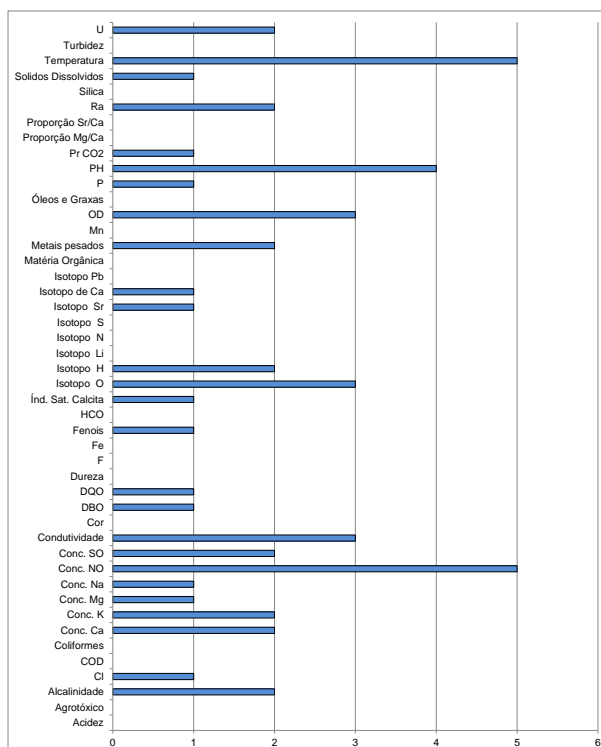
Observa-se também as repetidas ocorrências de medidas de pH, temperatura e condutividade. Estas medidas estão intrinsicamente ligadas ao tipo litológico do calcário, visto que o pH é um importante parâmetro para se avaliar a agressividade da água para a rocha carbonática. A temperatura é importante em dois aspectos: primeiro a medida de pH está ligada a temperatura, já que o medidor de pH deve ser calibrado para a temperatura da água amostrada e segundo, a água em baixas temperaturas apresenta uma maior agressividade. A condutividade está ligada a presença de íons formados no processo de dissolução da rocha pelo CO₂, quanto maior a dissolução maior será a condutividade (KRAWCZYK, 1996).

Figura 3: Gráfico de Parâmetros – Itália



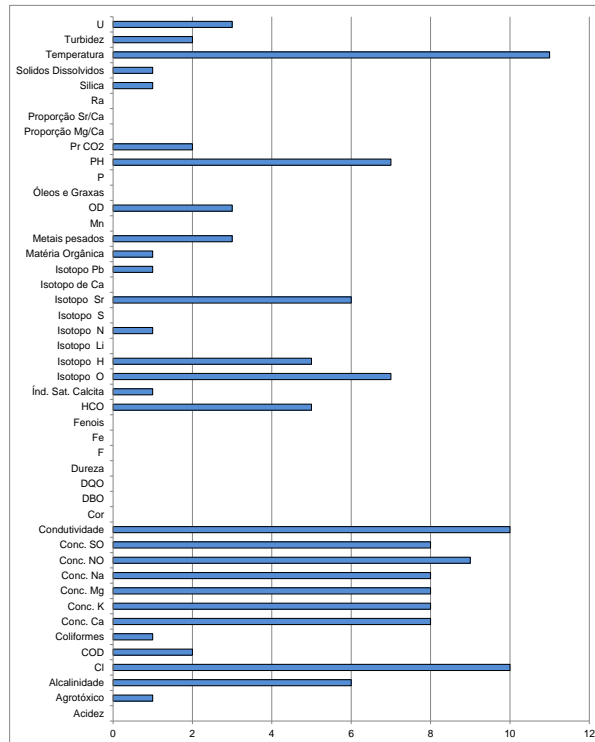
Fonte: (MAJONE et al., 2003; BARBIERI et al., 2005; ONORATI et al., 2006; LOPEZ e VURRO, 2008; BARBIERI et al., 2013; BOTTONI et al., 2013; LIOTTA ET AL., 2013; NISI et al., 2013; NOCCHI e SALLEOLINI, 2013; PENNA et al., 2013.)

Figura 4: Gráfico de Parâmetros – Eslovênia



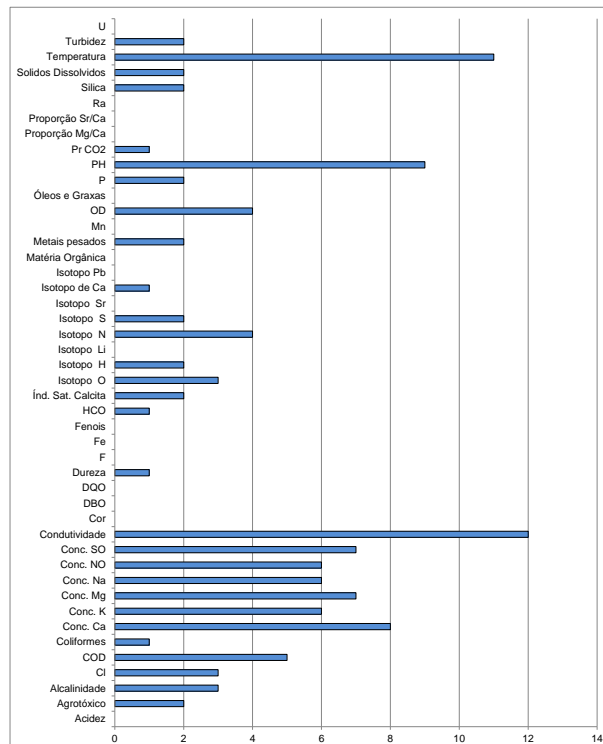
Fonte: (KOBAL et al., 1990; ZAGORC-KONČAN et al., 1991; REISENHOFER et al., 1998; MATIČIĆ, 1999; POPIT et al., 2004; OGRINC et al., 2008; KANDUČ et al., 2012; FRANČIŠKOVIĆ-BILINSKI et al., 2013; SEBELA e TURK, 2014.)

Figura 5: Gráfico de Parâmetros – França



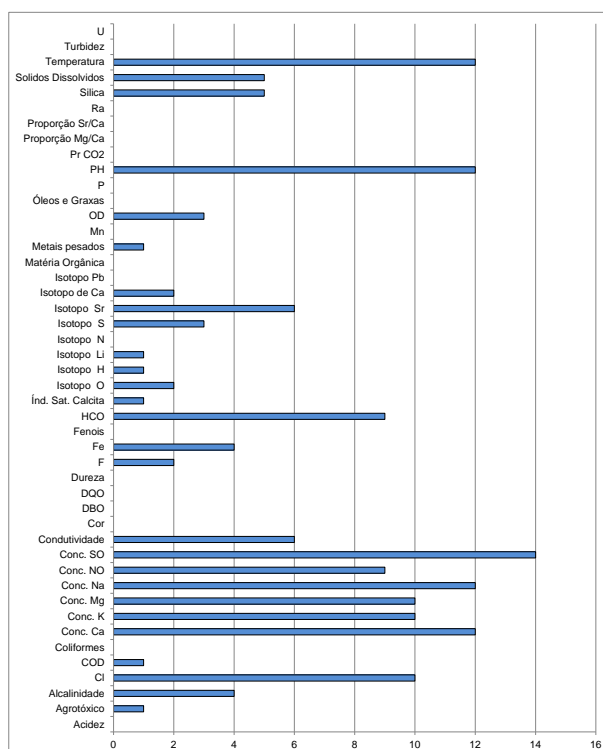
Fonte: (LAROCQUE et al., 1998; PETELET et al., 1998; AQUILINA et al., 2002; AQUILINA et al., 2005; ; AQUILINA et al., 2006; BARAN et al., 2008; MAHLER et al., 2008; LADOUCHE et al., 2009; CAETANO BICALHO, 2012; EL GAOUZI et al., 2013; KHASKA et al., 2013a; 2013b; TISSIER et al., 2013; GENTY et al., 2014.)

Figura 6: Gráfico de Parâmetros – E.U.A



Fonte: (KROTHER e LIBRA, 1983; SASOWSKY e WHITE, 1993; IGBAL e KROTHER, 1995; WICKS e ENGELN, 1997; KATZ et al., 2001; PANNO et al., 2001; PETERSON et al., 2002; VESPER e WHITE, 2003; KATZ et al., 2004; MASSEI et al., 2006; MAHLER e MASSEI, 2007; MOORE et al., 2009; GAMMONS et al., 2013; MAHLER e BOURGUAIS, 2013; ZHANG et al., 2014.)

Figura 7: Gráfico de Parâmetros – China



Fonte: (WANG et al., 2001; HAN e LIU, 2004; WANG et al., 2006; GUO et al., 2007; HAN et al., 2010; JIANG et al., 2009; GUO et al., 2010; LI et al., 2010; DING et al., 2011; LANG et al., 2011; NIE et al., 2012; SUN et al., 2013; TIAN et al., 2013; SHAO et al., 2014; SUN et al., 2014.)

Outros parâmetros de importância relevante avaliados nesses gráficos são os isótopos. Estes são elementos químicos caracterizados pelo mesmo número atômico e diferente número de massa. Os isótopos estáveis, de elementos químicos, estão presentes nos maiores e mais significativos ciclos naturais como o oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), enxofre (S) e o carbono (C). Desta forma os isótopos vêm sendo largamente utilizados como ferramenta para compreensão de diversos fenômenos como: traçadores naturais, marcadores cronológicos em estudos de proveniência, recarga e idade de aquífero (SILVEIRA e SILVA JÚNIOR, 2002). A variação no número da massa atômica, de cada isótopo, é dada pela diferente quantidade de nêutrons presentes no núcleo do elemento químico considerado. Tal variação, por sua vez, confere propriedades físicas específicas a cada isótopo, condicionando, assim comportamentos distintos para cada um frente aos diversos processos do ciclo hidrológico (CLARK e FRITZ, 1997).

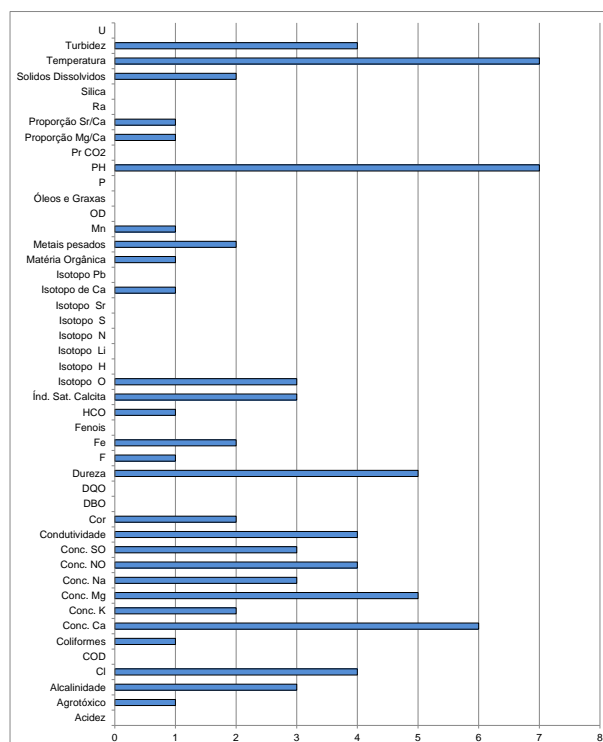
PARÂMETROS NACIONAIS PARA A ANÁLISE DA ÁGUA CÁRSTICA

A seguir o gráfico (Figura 8) com os parâmetros encontrados nos respectivos artigos, para as águas cársticas em nível nacional é apresentado.

Ao analisar o gráfico de parâmetros brasileiros (Figura 8), novamente fica evidente a repetição de alguns parâmetros, tais como os cátions e ânions maiores. Isso demonstra que mesmo o carste brasileiro diferindo em alguns aspectos do carste europeu, americano e chinês, ele sofre riscos com contaminantes de mesmo gênero (fertilizantes e esgoto doméstico) (MIRLEAN e OSINALDI, 2008).

Contudo, o gráfico brasileiro demonstra a pouca ocorrência de medida de isótopos, quando comparado aos outros países. Este fato será avaliado logo após a apresentação do gráfico de parâmetros do estado de Minas Gerais.

Figura 8. Gráfico de Parâmetros – Brasil



Fonte: (BONACIM, 1996; KARMANN et al., 2007; MELO, 2007; HINDI, 1999; HINDI et al., 2002; FRITZSONS et al., 2003a; 2003b; CRUZ et al., 2005; FRITZSONS et al., 2009; ROCHA et al., 2010; HINDI et al., 2013; OLIVEIRA e MORAIS, 2013; BARRETO et al., 2014.)

PARÂMETROS ESTADUAIS (MG) PARA A ANÁLISE DA ÁGUA CÁRSTICA

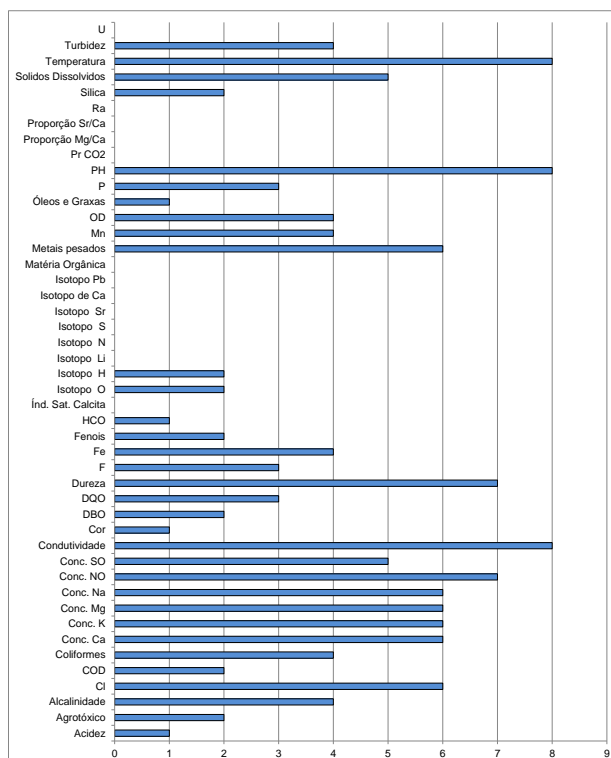
A seguir o gráfico (Figura 9) com os parâmetros encontrados nos respectivos artigos, para as águas cársticas em nível estadual é apresentado.

Analisando o gráfico (Figura 9) de parâmetros para avaliação de águas cársticas do estado de Minas Gerais, constatou-se que, as informações apresentadas não diferem em grande escala do gráfico em escala nacional, pois as duas apresentam foco nos padrões dos cátions e ânions maiores. Contudo, o gráfico em análise, difere das matrizes internacionais, onde o número de padrões é maior e apresenta parâmetros que não são estudados nem mesmo dentro do Brasil.

DISCUSSÃO

Como já citado neste trabalho, existem parâmetros que são comuns à estudos internacionais e nacionais, a ocorrência repetida desses padrões não é coincidência, pois os cátions e ânions maiores são respostas diretas às interferências antropogênicas nas características da água. Isso demonstra que o Brasil está alinhado a métodos internacionais, porém, a pouca frequência de trabalhos que contemplam a presença de isótopos, caracteriza duas feições: a primeira é o tipo de carste existente no Brasil. Existe grande volume de água sub-superficial no carste tradicional brasileiro em comparação ao carste tradicional europeu, já que o regime pluviométrico é mais intenso e o calcário do Brasil está subterrâneo, proporcionando água de fácil acesso. A segunda feição é o conhecimento técnico para se trabalhar com esses dados, estes por sua vez, são muito dispendiosos. Segundo Silveira e Silva Júnior (2002) os estudos com isótopos fornecem dados para trabalhos com traçadores naturais e marcadores cronológicos em estudos de proveniência, recarga e idade de aquífero. Essas características auxiliam os estudos que tem como foco a capacidade de armazenamento de água dessas reservas, grande problemática europeia.

Figura 9: Gráfico de Parâmetros – Minas Gerais



Fonte: (AULER, 1997; MINARDI e BOMTEMPO, 2002; NUNES et al., 2005; DINIZ, 2006; HADDAD, 2007; MELO, 2007; FELIPPE et al., 2008; DIAS, 2009; CALIJURI et al., 2010; CASTRO, 2011 DUARTE, 2010; VIANA et al., 2011; SILVINO, 2012.)

Kanduc et al. (2012) avaliaram a presença de isótopos ambientais de oxigênio (O) e hidrogênio (H) para chegarem a conclusão que a recarga de aquíferos provenientes dos alpes do norte da Eslovênia seriam de água proveniente de chuvas entre 2,6 e 5 anos. Na Itália Barbieri et al. (2005) utilizaram o estrôncio (Sr) isotópico para chegar a conclusão que durante o período de seca a mudança das características da água são devidas ao fluxo da mesma por rochas mais antigas. Na França El Gaouzi et al. (2013) usaram os isótopos de nitrogênio (N) e oxigênio (O) para identificar a fonte poluidora de nitratos que contaminava a água do abastecimento de Paris. Estes são alguns exemplos de uso dos isótopos ambientais e alguns exemplos de como tal dado pode auxiliar a metodologia de pesquisa em recursos hídricos no Brasil (CLARK e FRITZ, 1997).

Surpreendente é a avaliação do estudo de águas cársticas em Minas Gerais, apesar de não conseguir alcançar os mesmos parâmetros utilizados nos países europeus, os estudos mineiros estão um passo a frente dos estudos em águas cársticas de outros estados brasileiros. O estado de Minas Gerais possui a maior área cárstica entre todos os entes da federação sendo a que possui a maior parte de seu território coberta por esse relevo (FORD e WILLIAMS, 2007). A maior bacia brasileira, a do Rio São Francisco, tem suas nascentes e sua maior extensão em Minas Gerais, e na sua maior parte é uma bacia calcária (IBAMA, 2010 FORD e WILLIAMS, 2007). Todos esses fatores demonstram que os estudos de águas cársticas, no estado, apresentam-se avançados se comparados as demais produções científicas do país. Além disso, vale ressaltar que a quantidade, qualidade e temática dos trabalhos, apresentam uma maior profundidade acadêmica e aplicabilidade.

Duarte (2010), caracterizou as águas cársticas do norte de Minas Gerais para avaliar a possibilidade de aplicação de gás carbônico acelerando a precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3) e disponibilizar água com características melhores para a irrigação de gotejamento. Santos et al. (2010) avaliaram as características das águas cársticas retiradas de poços para irrigação no norte de Minas Gerais, e desenvolveram um índice de salinização devido ao uso de cada classe de água. Haddad (2007) investigou as influências antrópicas na qualidade do Rio São Miguel em Pains/MG.

Todos esses estudos têm em comum a localização na grande bacia do rio São Francisco, o que dá uma posição estratégica aos estudos de águas cársticas para Minas Gerais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nota-se nos gráficos internacionais que temperatura, concentração de sulfurosos, condutividade, concentração de cálcio e pH são os parâmetros que mais se repetem. Sendo que temperatura, pH e condutividade estão intrinsecamente ligados aos estudos de águas cársticas e águas em geral. Os ânions e cátions maiores, que se repetem, estão relacionados a poluição das águas por fertilizantes e esgoto doméstico. Dos isótopos o que mais se repete é do oxigênio, mostrando o caráter elucidador de seu uso no carste internacional.

No Brasil os cinco parâmetros com maior número de repetições foram: pH, temperatura, Concentração de Cálcio (Ca), Concentração de Magnésio (Mg) e Dureza. A temperatura e pH tem as mesmas motivações que na Europa. Já a concentração de cálcio e magnésio estão ligados ao tipo litológico (rochas carbonáticas) e ao impacto de fertilizantes e esgoto doméstico, pois estas são as maiores fontes poluidoras das águas no Brasil. As águas cársticas são mais vulneráveis e expostas à esse tipo de poluição no Brasil, já que o solo desenvolvido nesse relevo é muito fértil e propício à atividades agrícolas. A dureza está relacionada a necessidades industriais.

O caso de Minas Gerais não difere do restante do Brasil, sendo que os principais parâmetros constatados são: condutividade, pH, temperatura, concentração de nitrogenados (NO) e dureza. Os três primeiros são referentes as características da água em si, em qualquer litologia e especificamente no carste. A concentração de nitrogenados está relacionada a poluição antropogênica e a dureza novamente relacionada a indústria.

Os parâmetros estudados no Brasil e em Minas Gerais refletem o tipo de poluição que as águas em geral sofrem no país. Contudo as características específicas dos aquíferos cársticos, como condutividade hidrológica e balanço hidrológico peculiar necessitam de estudos voltados a explicar esses fenômenos. A crescente ocupação humana do relevo cárstico e o conseqüente aumento no uso dos recursos provenientes desse ambiente exige uma abordagem que responda as necessidades futuras. O aumento do uso de água de aquíferos para os diversos uso da sociedade exigirá que a ciência brasileira desenvolva novas formas de se estudar o carste.

Os pesquisadores com maior relevância no estudo de águas cársticas no Brasil como Hindi, Fritzsos e Karmann têm produzido trabalhos utilizando traçadores e isótopos. Contudo, o financiamento, licenciamento e acesso a esses componentes e ferramentas no Brasil é dispendioso e demorado. Para que o uso dessas técnicas seja difundido na academia brasileira laboratórios devem ser equipados e técnicos treinados, o que demanda investimento no setor.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida durante a elaboração deste artigo. Ao Professor Luiz Eduardo Panisset Travassos pelas contribuições através da disciplina lecionada que gerou este trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANDREYCHOUK, Viacheslav.; DUBLYANSKY, Yuri; EZHOV, Yuri; LYSENIN, Genadiy. **Karst in the earth's crust: its distribution and principal types**. Poland: University of Silesia/Ukrainian Academy of Sciences/Tavrishesky National University-Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, 2009. 72 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Viacheslav_Andreychouk/publication/318214505karst_in_the_Earth%27s_Crust_its_distribution_and_principal_types/links/595d0d830f7e9b3aefade6db/Karst-in-the-Earth's-Crust-its-distribution-and-principal-types.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2014.
- AQUILINA, Luc.; LADOUCHE, Bernard.; DÖRFLIGER, Nathalie.; SEIDEL, Jean Luc.; BAKALOWICZ, Michel.; CRISTOPHE, Dupuy.; STRAT, Paul le. Origin, evolution and residence time of saline thermal fluids (Balaruc springs, southern France): implications for fluid transfer across the continental shelf. **Chemical Geology**, Rostok, vol.192, n.1, p.1-21, 2002.

- AQUILINA, Luc; LADOUCHE, Bernard; DÖRFLIGER, Nathalie. Recharge processes in karstic systems investigated through the correlation of chemical and isotopic composition of rain and spring-waters. **Applied Geochemistry**, Mainz, vol.20, n.12, p.2189-2206, 2005.
- AQUILINA, Luc; LADOUCHE, Bernard; DÖRFLIGER, Nathalie. Water storage and transfer in the epikarst of karstic systems during high flow periods. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.327, n.3, p.472-485, 2006.
- AULER, A. S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. As Grandes Cavernas do Brasil. Belo Horizonte, Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas: 2001.
- AULER, Augusto Sarreiro. Espeleometria no Brasil: Uma abordagem histórica. **Espeleo-Tema (São Paulo)**, v. 18, p. 23-30, 1997.
- AULER, Augusto Sarreiro. Karst areas in Brazil and their potential for major caves. **Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología**, v. 36, p. 29-35, 2002
- BARAN, Nicole; LEPILLER, Michel; MOUVET, Christophe. Agricultural diffuse pollution in a chalk aquifer (Trois Fontaines, France): Influence of pesticide properties and hydrodynamic constraints. **Journal of hydrology**, Amsterdam, vol.358, n.1, p.56-69, 2008.
- BARBIERI, Maurizio.; BOSCHETTI, Tiziano.; PETITTA, Marco.; TALLINI.; Marco.. Stable isotope (^2H , ^{18}O and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy). **Applied Geochemistry**, Mainz, vol.20, p.2063-2081, 2005.
- BARBIERI, Maurizio; BATTISTEL, Maria; BOSCHETTI, Tiziano. Chemical and isotope monitoring at Lake Albano (Central Italy): water-rock interaction and climate change effects. **Procedia Earth and Planetary Science**, Philadelphia, vol.7, p.53-56, 2013.
- BARRETO, Luciano Vieira.; FRAGA, Micael de Souza.; BARROS, Flávia Mariani.; ROCHA, Felizardo Adenilson.; AMORIM, Jhones da Silva.; CARVALHO, Stênio Rocha de.; BONOMO, Paulo.; SILVA, Danilo Paulúcio da. Relação entre Vazão e Qualidade da Água em uma Seção de Rio. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, vol.9, n.1, p.118-129, mar. 2014.
- BONACIM, Elaine A. **Dinâmica do Sistema Hidrogeológico Cárstico na Área de Tranqueira – Região Metropolitana de Curitiba**. 1996. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Curitiba.
- BOTTONI, Paola.; GRENNI, Paola.; LUCENTINI, Luca.; CARACCILOLO, Anna Barra.. Terbutylazine and other triazines in Italian water resources. **Microchemical Journal**, Louisiana, vol.107, p.136-142, 2013.
- BICALHO, Cristina Caetano.; BATIOU-GUILHE, Christelle.; SEIDEL, Jean Luc, VAN-EXTER, Sandra.; JOURDE, Herve. Geochemical evidence of water source characterization and hydrodynamic responses in a karst aquifer. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.450, p.206-218, 2012.
- CALIJURI, Maria Lúcia.; SANTIAGO, Aníbal da Fonseca.; MOREIRA NETO, Ronan Fernandes.; CARVALHO, Isabella de Castro. Evaluation of the Ability of a Natural Wetland to Remove Heavy Metals Generated by Runways and Other Paved Areas from an Airport Complex in Brazil. **Water Air Soil Pollut**, Ontario, vol.219, n.1, p.319-327, dez. 2010.
- CASTRO, Eduardo de. **Estudo Hidrogeoquímico Ambiental em Região Cárstica no Município Sete Lagoas - Minas Gerais**: Investigação da Contaminação de águas Superficiais e Subterrâneas por Nitrato de Antrazina, na Área do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da EMBRAPA. 2011. Tese (Doutorado) - Universidade de Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- CLARK, Ian D.; FRITZ, Peter. **Environmental isotopes in hydrogeology**. CRC press, 1997. Disponível em: <http://books.google.co.in/books?id=ON2XmjqXFRAC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 24 jun. 2014.
- CRUZ, Francisco W. Jr.; KARMANN, Ivo.; VIANNA JR.; Oduvaldo.; BURNS, Stephen J.; FERRARI, José A.; VUILLE, Mathias.; SIAL, Alcides N.; MOREIRA, Marcelo Z. Stable Isotope Study of Cave Percolation Waters in Subtropical Brazil: Implications for Paleoclimate Inferences from Speleothems. **Chemical Geology**, Cidade do Porto, n.220, p.245-262, abril 2005.

DE WAELE, Jo. El proceso kárstico. Recursos didácticos – Espeleología y Karst. Bolonha: Società Speleologica Italiana, 2009.

DIAS, Frederico Soares. **Estudo do Aquífero Carbonático da Cidade de Barroso (MG) - Uma Contribuição à Gestão do Manancial subterrâneo**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade de Federal de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Geologia.

DING, Hu; LANG, Yun-Chao; LIU, Cong-Qiang. The impact of land use and land cover changes on solute dynamics in seepage water of soil from karst hillslopes of Southwest China. **Applied Geochemistry**, Mainz, vol.26, p.S183-S186, 2011.

DINIZ, Luciana Galuppo. **O Flúor nas Águas Subterrâneas do Estado de Minas Gerais**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Federal de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Geologia.

DUARTE, Francinete Veloso. **Influência da Aplicação de Gás Carbônico na Redução de Precipitação de Carbonatos em Sistema de Irrigação Localizada**. 2010. Tese (Doutorado) - Universidade de Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

EL GAOUZI, Fatima-Zahra Jihane.; SEBILO, Mathieu.; RIBSTEIN, Pierre.; BOECKX, Pascal.; XUE, Dongmei.; DERENNE, Sylvie.; ZAKEOSSIAN, Manon. Using $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values to identify nitrate sources in karstic springs in the Paris basin (France). **Applied Geochemistry**, Mainz, vol.35, p.230-243, 2013.

FELIPPE, Miguel Fernandes.; MAIA-RODRIGUES, Brenner.; SOUZA, Sônia.; LEÃO, Marina Ribeiro.; RIGHI, Rafael. **Geomorfologia e Hidrogeologia: Avaliação da Dureza da Água Subterrânea e sua Relação com a Morfologia do Terreno em Lagoa Santa (MG)**. Belo Horizonte. 2008 Universidade de Federal de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Geociência.

FORD, Derek; WILLIAMS, Paul. **Karst Geomorphology and Hydrology**, 1989. London, Chapman & Hall, 601 p. Disponível em: <https://sudartomas.files.wordpress.com/2012/11/karsthydrogeologyandgeomorphology1.pdf> Acesso em: 15 jun. 2014.

FORD, Derek; WILLIAMS, Paul. **Karst Hydrology and Geomorphology**, 2007. Disponível em: http://books.google.com.br/books?id=oxsa9nbQxueC&printsec=frontcover&hl=ptBR&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em 16 jun. 2014.

FRANCISKOVIC-BILINSKI, Stanislav.; CUCULIC, Vlado.; BILINSKI, Halka.; HAUSLER, Hermann.; STADLER, Philipp. Geochemical and stable isotopic variability within two rivers rising under the same mountain, but belonging to two distant watersheds. **Chemie der Erde-Geochemistry**, Wilhelm-Klemm, vol.73, n.3, p.293-308, 2013.

FRITZSONS, Elenice.; MANTOVANI, Luiz Eduardo.; CHAVES NETO, Anselmo.; HINDI, Eduardo Chemas. A Influência das Atividades Mineradoras na Alteração do pH e da Alcalinidade em Águas Fluviais: o exemplo do rio Capivari, região do carste paranaense. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, vol.14, n.3, p.381-390, set. 2009.

FRITZSONS, Elenice.; HINDI, Eduardo Chemas.; MANTOVANI, Luiz Eduardo. As Alterações da Qualidade da Água do Rio Capivari com o Deflúvio: Um Instrumento de Diagnóstico de Qualidade Ambiental. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, vol.8, n.4, p.239-248, dez. 2003a.

FRITZSONS, Elenice.; HINDI, Eduardo Chemas.; MANTOVANI, Luiz Eduardo.; RIZZI, Nivaldo Eduardo. Consequências da Alteração da Vazão sobre Alguns Parâmetros de Qualidade de Água Fluvial. **Revista Floresta**, Curitiba, vol.33, n.2, p.201-214, agosto 2003b.

GAMMONS, Christopher H.; BROWN, Allison.; POULSON, Simon R.; HENDERSON, Thomas H. Using stable isotopes (S, O) of sulfate to track local contamination of the Madison karst aquifer, Montana, from abandoned coal mine drainage. **Applied Geochemistry**, Mainz, vol.31, p.228-238, 2013.

GENTY, D.; LABUHN, I.; HOFFMANN, G.; DANIS, P.A.; MESTRE, O.; BOURGES, F.; WAINER, K.; MASSAULT, M.; VAN-EXTER, S.; RÉGNIER, E.; ORENGO, Ph.; FALOURD, S.; MINSTER, B. Rainfall and cave water isotopic relationships in two South-France sites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Canberra, vol.131, p.323-343, 2014.

GUO, Fang.; YUAN, Daoxian.; ZHENGJIAO, Qin.; Groundwater Contamination in Karst Areas Of Southwestern China And Recommended Conuntermeasures. **Acta Carsologica**, Postojna, vol.39, n.2, p. 389 – 399, 2010.

GUO, Qinghai.; WANG, Yanxin.; MA, Teng.; MA, Rui. Geochemical processes controlling the elevated fluoride concentrations in groundwaters of the Taiyuan Basin, Northern China. **Journal of Geochemical Exploration**, Virginia, vol.93, n.1, p.1-12, 2007.

HADDAD, Eduardo Abjaud. **Influência Antrópica na Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas Gerais**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Geografia Área de Concentração: Análise Ambiental.

HAN, Guilin.; TANG, Yang.; WU, Qixin.; TAN, Qiu. Chemical and strontium isotope characterization of rainwater in karst virgin forest, Southwest China. **Atmospheric Environment**, Norwich, vol.44, n.2, p.174-181, 2010.

HAN, Guilin; LIU, Cong-Qiang. Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province, China. **Chemical Geology**, Rostock, vol.204, n.1, p.1-21, 2004.

HARDT, Rubens. **Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário – Cocalinho - MT**. 2004. Rio Claro – São Paulo: Depto. de Geografia. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. 112p. (Dissertação de Mestrado).

HARDT, Rubens. Sistema cárstico e impactos antrópicos: considerações sobre o manejo. **1º Simpósio de Pós Graduação em Geografia do Estado de São Paulo - SIMPGEO**, Rio Claro, 2008. 1295-1309.

HINDI, Eduardo Chemas.; ROSA FILHO, Ernani Francisco da.; LUCENA, Leandson Roberto F. de.; BITTENCOURT, André Virmond Lima.; MANTOVANI, Luiz Eduardo.; XAVIER, Jorge Montano.; NADAL, Carlos Aurélio.; GIUSTI, Donizetti Antônio. Características Hidrogeológicas do Aquífero Cárstico em Colombo (PR) e Impactos Ambientais Resultantes da sua Exploração. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, 2002, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABAS, 2002.

HINDI, Eduardo Chemas.; ROSA FILHO, Ernani Francisco da.; MANTOVANI, Luiz Eduardo.; LUCENA, Leandson Roberto F. de . Proposição de Atributos para o Aproveitamento de Fontes Naturais do Aquífero Cárstico de Curitiba-PR, Brasil. **Comunicações Geológicas**, Amadora, Portugal, vol.100, n.1, p.67-71, junho 2013.

HINDI, Eduardo Chemas. **Caracterização Hidroquímica e Hidrológica das Fontes Cársticas das Bacias dos Rios Tumiril, Água Comprida, Fervidae das Onças – Colombo - PR**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Curitiba.

IGBAL, Mohammad Z.; KROTHER, Noel C. Infiltration mechanisms related to agricultural waste transport through the soil mantle to karst aquifers of southern Indiana, USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.164, n.1, p.171-192, 1995.

IBAMA - Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente E Recursos Naturais Renováveis. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. 2010. Disponível em < <http://www.ibama.gov.br/servicos/bacia-do-rio-sao-francisco.pdf>>. Acesso em 24 jun. 2014.

JIANG, Yongjun.; WU, Yueixa.; GROVES, Chris.; YUAN, Daoxian.; KAMBESIS, Pat.. Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong karst underground river system in Yunan, China. **Journal of contaminant hydrology**, Gainesville, v.109, n.1, p.49-61, 2009.

KANDUČ, Tjaša.; MORI, Natasa.; KOČMAN, David.; STIBILJ, Vekoslava.; GRASSA, Fausto.. Hydrogeochemistry of Alpine springs from North Slovenia: Insights from stable isotopes. **Chemical Geology**, Rostock, vol.300, p.40-54, 2012.

KARMANN, Ivo; SÁNCHEZ, Luís Enrique. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, v. 13, p. 105-167, 1979.

KARMANN, I. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 1994. 241p. (Tese de Doutorado).

KARMANN, Ivo.; CRUZ JUNIOR, Francisco W.; VIANA JUNIOR, Oduvaldo.; BURNS, Stephens J.. Climate influence on geochemistry parameters of waters from Santana–Pérolas cave system, Brazil. **Chemical Geology**, Cidade do Porto, n.244, p.232-247, 2007.

KATZ, Brian G.; BÖHLKE, John Karl; HORNSBY, H. David. Timescales for nitrate contamination of spring waters, northern Florida, USA. **Chemical Geology**, Rostock, vol.179, n.1, p.167-186, 2001.

KATZ, Brian G.; CHELETTE, Angela R.; PRATT, Thomas R. Use of chemical and isotopic tracers to assess nitrate contamination and ground-water age, Woodville Karst Plain, USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.289, n.1, p.36-61, 2004.

KHASKA, Mahmoud.; LA SALLE, Corinne Le Gal.; LANCELOT, Joel.; MOHAMAD, Amad.; VERDOUX, Patrick.; NORET, Aurélie.; SIMLER, Roland. Origin of groundwater salinity (current seawater vs. saline deep water) in a coastal karst aquifer based on Sr and Cl isotopes. Case study of the La Clape massif (southern France). **Applied Geochemistry**, Mainz, vol.37, p 212-227, 2013a.

KHASKA, Mahmoud.; LA SALLE, Corinne Le Gal.; LANCELOT, Joel.. Origin of Salinity in a Coastal Karst System: La Clape Massif, SE France. **Procedia Earth and Planetary Science**, Philadelphia, vol.7, p.423-427, 2013b.

KOBAL, I.; VAUPOTIC, J.; MITTC, D.; KRISTAN, J.; JERANCIC, S.; SKOFLJANEC, M.; Natural radioactivity of fresh waters in Slovenia, Yugoslavia. **Environment international**, Lancaster, vol.16, n.2, p.141-154, 1990.

KRAWCZYK, Wieslawa Ewa. Manual for Karst Analysis. **International Journal of Speleology Handbook 1 – Physical Speleology**, Sosnowiec, vol.1, n.1, dez. 1996.

KROTHER, Noel C.; LIBRA, R. D. Sulfur isotopes and hydrochemical variations in spring waters of southern Indiana, USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.61, n.1, p.267-283, 1983.

LADOUCHE, Bernard; LUC, Aquilina; NATHALIE, Dörfliger. Chemical and isotopic investigation of rainwater in Southern France (1996–2002): Potential use as input signal for karst functioning investigation. **Journal of hydrology**, Amsterdam, vol.367, n.1, p.150-164, 2009.

LANG, Yun-Chao.; LIU, Cong-Qiang.; LI, Si-Liang.; ZHAO, Zhi-Qhi.; ZHOU, Zhi-Hua. Tracing natural and anthropogenic sources of dissolved sulfate in a karst region by using major ion chemistry and stable sulfur isotopes. **Applied Geochemistry**, Mainz, vol.26, p.S202-S205, 2011.

LAROCQUE, M.; MANGIN, A.; RAZACK, M.; BANTON, O. Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.205, n.3, p.217-231, 1998.

LI, Xiao-Dong.; LIU, Cong-Qiang.; HARUE, Masuda.; LI, Si-Liang.; LIU, Xiao-Long. The use of environmental isotopic (C, Sr, S) and hydrochemical tracers to characterize anthropogenic effects on karst groundwater quality: A case study of the Shuicheng Basin, SW China. **Applied Geochemistry**, Mainz, v.25, n.12, p.1924-1936, 2010.

LIOTTA, Marcello.; GRASSA, Fausto.; D’ALESSANDRO, Walter.; FAVARA, Rocco.; CANDELA.; Ester Gagliano.; PISCIOTTA, Antonino.; SCALLETÀ, Claudio. Isotopic composition of precipitation and groundwater in Sicily, Italy. **Applied Geochemistry**, Mainz, vol.34, p.199-206, 2013.

LOPEZ, A.; VURRO, M. Planning agricultural wastewater reuse in southern Italy: The case of Apulia Region. **Desalination**, Swansea, vol.218, n.1, p.164-169, 2008.

MAHLER, Barbara J.; VALDES, Daniele.; MUSGROVE, M.; MASSEI, Nicolas. Nutrient dynamics as indicators of karst processes: Comparison of the Chalk aquifer (Normandy, France) and the Edwards aquifer (Texas, USA). **Journal of contaminant hydrology**, Gainesville, vol.98, n.1, p.36-49, 2008.

MAHLER, Barbara J.; BOURGEOIS, R. Dissolved oxygen fluctuations in karst spring flow and implications for endemic species: Barton Springs, Edwards aquifer, Texas, USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.505, p.291-298, 2013.

- MAHLER, Barbara J.; MASSEI, Nicolas. Anthropogenic contaminants as tracers in an urbanizing karst aquifer. **Journal of contaminant hydrology**, Gainesville, v.91, n.1, p.81-106, 2007.
- MAJONE, Bruno; BELLIN, Alberto; BORSATO, Andrea. Runoff generation in karst catchments: multifractal analysis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.294, p.176-195, 2003.
- MASSEI, Nicolas.; DUPONT, Jean-Paul.; MAHLER, Barbara J.; LAIGNEL, B.; FOURNIER, Matthieu.; VALDES, Daniele.; OGEIR, S.. Investigating transport properties and turbidity dynamics of a karst aquifer using correlation, spectral, and wavelet analyses. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.329, n.1, p.244-257, 2006.
- MATICIC, Brane. The impact of agriculture on ground water quality in Slovenia: standards and strategy. **Agricultural water management**, Auckland, vol.40, n.2, p.235-247, 1999.
- MELO, José Geraldo de. Aspectos Hidrogeoquímicos e Classes de Água do Aquífero Cárstico Jandaíra para Irrigação, Baraúna, RN. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, vol.21, n.1, p.9-21, 2007.
- MILEK, Cristiano Bernardo; KISHI, Regina Tiemy. Proposta de metodologia de apoio à decisão baseada na previsão de impacto sobre qualidade da água de aquíferos. Estudo de caso: Aquífero Carste em Amirante Tamandaré. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009, Campo Grande. **Anais**. Porto Alegre: ABRH, 2009.
- MINARDI, Paulo Sérgio Pelógia; BOMTEMPO, Virgílio Lopardi. Traçadores e Técnicas Isotópicas em Hidrologia Subterrânea: A Experiência do CDTN/CNEN, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 11, 2000, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABAS, 2002.
- MIRLEAN, Nicolai; OSINALDI; Guilherme Martinez. Impacto da Indústria de Fertilizantes sobre a Qualidade da Água Subterrânea. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, 2002, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABAS, 2008.
- MOORE, Paul J.; MARTIN, Jonathan B.; SCREATON, Elizabeth J. Geochemical and statistical evidence of recharge, mixing, and controls on spring discharge in an eogenetic karst aquifer. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.376, n.3, p.443-455, 2009.
- NIE, Yun-peng.; CHEN, Hong-Song.; WANG, Ke-Ling.; YANG, Jing.. Water source utilization by woody plants growing on dolomite outcrops and nearby soils during dry seasons in karst region of Southwest China. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.420, p.264-274, 2012.
- NISI, Barbara.; VASELI, Orlando.; HUERTAS, Antonio Delgado.; TASSI, Franco.. Dissolved nitrates in the groundwater of the Cecina Plain (Tuscany, Central-Western Italy): Clues from the isotopic signature of NO₃. **Applied geochemistry**, Mainz, vol.34, p.38-52, 2013.
- NOCCHI, M.; SALLEOLINI, M. A 3D density-dependent model for assessment and optimization of water management policy in a coastal carbonate aquifer exploited for water supply and fish farming. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.492, p.200-218, 2013.
- NUNES, Walder Antônio Gomes de Albuquerque.; KER, João Carlos.; NEVES, Júlio César Lima.; RUIZ, Hugo Alberto.; FREITAS, Guilherme Albuquerque.; BEIRIGO, Raphael Moreira. Qualidade da Água de Irrigação de Poços Tubulares e do Rio Gorutuba na Região de Janaúba-MG. **Irriga**, Botucatu, vol.10, n.4, p.403-410, dez. 2005.
- OGRINC, Nives.; KANDUC, Tjasa.; STICHLER, Wilibald.; VRECA, Polona.. Spatial and seasonal variations in δ¹⁸O and δD values in the River Sava in Slovenia. **Journal of hydrology**, Amsterdam, vol.359, n.3, p.303-312, 2008.
- OLIVEIRA, Karine Beraldo Magalhães; MORAIS, Fernando de. Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Entorno da Lagoa da Confusão, Tocantins, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20, 2013, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves: ABRH, 2013.
- ONORATI, G.; DI MEO, T.; BUSSENTINI, Martina.; FABIANI, C.; FARRACE, M. G.; FAVA, A.; FERRONATO, A.; MION, A.; MARCHETTI, G.; MARTINELLI, Angiolo.. Groundwater quality monitoring in Italy for the implementation of the EU water framework directive. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Bristol, vol.31, n.17, p.1004-1014, 2006.
- PANNO, Samuel V.; HACKLEY, Keith.; HWANG, Hue-Hua.; KELLY, Walton. Determination of the sources of nitrate contamination in karst springs using isotopic and chemical indicators. **Chemical Geology**, Rostock, vol.179, n.1, p.113-128, 2001.

- PENNA, Daniele.; OLIVEIRO, Omar.; ASSENDELFT, Rick.; ZUECCO, Giulia.; VAN MEERVELD, Ilja (H. J.); AFONDILLO, Tommaso.; CARRARO, Vinicio.; BORGA, Marco.; FONTANA, Giancarlo Dalla.. Tracing the water sources of trees and streams: isotopic analysis in a small pre-alpine catchment. **Procedia Environmental Sciences**, Philadelphia, vol.19, p.106-112, 2013.
- PETELET, Emmanuelle.; LUCK, Jean-Marck.; OTHMAN, Dalila Ben.; NEGREL, Philippe.; AQUILINA, Luc.. Geochemistry and water dynamics of a medium-sized watershed: the Hé rault, southern France 1. Organisation of the different water reservoirs as constrained by Sr isotopes, major, and trace elements. **Chemical Geology**, Rostok, vol.150, p.63-83, 1998.
- PETERSON, Eric W.; DAVIS, Ralph K.; BRAHANA, J. V.; ORNDORFF, Holly A.. Movement of nitrate through regolith covered karst terrane, northwest Arkansas. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.256, n.1, p.35-47, 2002.
- PILÓ, Luís Beethoven. Rochas carbonáticas e relevos cársticos em Minas Gerais. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 19, n.3, p. 72-78, 1997.
- PILÓ, Luís Beethoven. **Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú - Carste de Lagoa Santa, MG**. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
- PILÓ, Luís Beethoven. Ambientes cársticos de Minas Gerias: valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 19, n.3, p. 51-78, 1999.
- POPIT, Andreja; VAUPOTIČ, Janja; KUKAR, Nataša. Systematic radium survey in spring waters of Slovenia. **Journal of environmental radioactivity**, Manitoba, vol.76, n.3, p.337-347, 2004.
- PUC-MG – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. **Linha de Pesquisa em Meio Ambiente: Carstologia**, 2014. Disponível em: < <http://portal.pucminas.br/pos/geografia/index-link.php?arquivo=disciplina&pagina=4153&id=224>> Acesso em 16 jun. 2014.
- REISENHOFER, E.; ADAMI, G.; BARBIERI, P. Using chemical and physical parameters to define the quality of karstic freshwaters (Timavo River, North-Eastern Italy): A chemometric approach. **Water Research**, Philadelphia, v.32, n.4, p.1193-1203, 1998.
- ROCHA, Felizardo Adenilson.; OLIVEIRA, Melquesedeck Saturnino Cabral.; MELO, Antônio Renê Benevides de.; BARROS, Flavia Mariani.; BARRETO, Luciano Vieira.. Variáveis de Qualidade de Água Influenciadas pelo Tipo e Época de Amostragem, no Rio Catolé-BA. **Enciclopédia Subterrânea**, Goiânia, vol.6, n.11, p.1, 2010.
- SANTOS, Estefânia Fernandes dos; PAIXÃO, Maricene Menezes Oliveira Mattos; SILVA, Sergio Melo da. **Aspectos Hidrogeoquímicos e Classes de Água do Aquífero Cárstico na Região de Jaíba, Varzelândia e Verdelândia, MG**. Belo Horizonte. 2010. Universidade de Federal de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Geociência.
- SANTOS, Everton Sena; SOARES, Bruna Fernandes; TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. Panorama inicial dos estudos pedológicos em regiões de carste tradicional. **Anais**. 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2011.
- SASOWSKY, Ira D.; WHITE, William B. Geochemistry of the Obey River Basin, north-central Tennessee: a case of acid mine water in a karst drainage system. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.146, p.29-48, 1993.
- SCHOBENHAUS Carlos., D. A. CAMPOS, G. R. DERZE & H. E. ASMUS. 1981. **Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente Incluindo Depósitos Minerais**. Departamento Nacional da Produção Mineral. Scale 1:2,500,000.
- SCHOBENHAUS, Carlos; NEVES, Benjamim Bley Brito. 2003. **Geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana** In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES J.H. (eds.) Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Texto, mapas e SIG. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. p. 5-54.
- ŠEBELA, Stanka; TURK, Janez. Natural and anthropogenic influences on the year-round temperature dynamics of air and water in Postojna show cave, Slovenia. **Tourism Management**, vol. 40, p.233-243, 2014.

- SHAO, Yixian.; WANG, Yanxin.; XU, Xiaoqing.; WU, Xiao.; JIANG, Zhou.; HE, Shanshan.; QIAN, Kun.. Occurrence and source apportionment of PAHs in highly vulnerable karst system. **Science of The Total Environment**, Barcelona, vol.490, p.153-160, 2014.
- SILVEIRA, Carla Semiramis; SILVA JÚNIOR, Gerson Cardoso da. O uso de isótopos ambientais em estudos hidrogeológicos no Brasil: uma resenha crítica. **Anuário do Instituto de Geociências**, vol.25, p.25-43, 2002.
- SILVINO, Renata Felipe. **Condição Trófica e Qualidade das Águas das Lagoas da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais**. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade de Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Belo Horizonte.
- STOKES, Tim; GRIFFITHS, Paul; RAMSEY, Carol. Karst Geomorphology, Hydrology, and Management. In: PIKE, R. G. et al. **Land Management Handbook 66**. 1. ed. Vancouver. 2010. Cap. 11, p.373-400.
- SUN, Jing.; TANG, Changyuan.; WU, Pan.; STROSNIDER, William H. J.. Hydrogen and oxygen isotopic composition of karst waters with and without acid mine drainage: Impacts at a SW China coalfield. **Science of The Total Environment**, Barcelona, vol.487, p.123-129, 2014.
- SUN, Jing.; TANG, Changyuan.; WU, Pan.; STROSNIDER, William H. J.; HAN, Zhiwei. Hydrogeochemical characteristics of streams with and without acid mine drainage impacts: A paired catchment study in karst geology, SW China. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.504, p.115-124, 2013.
- TIAN, Ye.; KIKUO, Haibara.; CHANG, Scott X.; TODA, Hiroto.; FANG, Shengzuo. Acid deposition strongly influenced element fluxes in a forested karst watershed in the upper Yangtze River region, China. **Forest Ecology and Management**, Colorado, vol.310, p.27-36, 2013.
- TISSIER, Grégory.; PERRETE, Yves.; DZIKOWSKI, Yves.; POULENARD, Jerome.; HOBLÈA, Fabien.; MALET, Emmanuel.; FANGET, Bernard. Seasonal changes of organic matter quality and quantity at the outlet of a forested karst system (La Roche Saint Alban, French Alps). **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.482, p.139-148, 2013.
- TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. **A importância cultural do carste e das cavernas**. 2010. 372f. Tese (Doutorado). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset; TRAVASSOS, Edson Gomes; PÔSSAS, Isabela Braichi; JANSEN, Débora Campos, RODRIGUES, Bruno Durão. Identificação de vestígios de microfauna associada a sedimentos cársticos em Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte. v.21, n.35, 2011.
- TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset; VARELA, Isabela Dalle. Aspectos legais do uso da água em regiões cársticas. Rio Claro, **OLAM – Ciência & Tecnologia**, Ano VIII, Vol. 8, N.3, 2008. p. 386-400.
- USP - Universidade de São Paulo. **Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo**, 2014. Disponível em: < <http://www.usp.br/nereus/?dados=brasil>> Acesso em 15 jun. 2014.
- UNIVERSITY OF AUCKLAND (NZ). **World Map of Carbonate Rock Outcrops v3.0**, 2010. Disponível em:< <http://www.sges.auckland.ac.nz/research/karst.shtml>>. Acesso em 16 jun. 2014.
- VESPER, Dorothy J.; WHITE, William B. Metal transport to karst springs during storm flow: an example from Fort Campbell, Kentucky/Tennessee, USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.276, n.1, p.20-36, 2003.
- VIANA, F.V.F.; SILVA, V. M.; LEITE, T. M. S.; MELO, S. K. Análise Microbiológica da Água de Ecossistema Natural no Município de Lagoa Santa - Minas Gerais, **Anuário da Produção de Iniciação Científica Discente**. Valinhos, vol.13, n.16, p.272-280, maio 2011.
- WANG, Y.; MA, T.; LUO, Z. Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on a regional scale: a case study in the Liulin karst system, northwestern China. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.246, n.1, p.223-234, 2001.
- WANG, Yanxin.; GUO, Qinghai.; SU, Chunli.; MA, Teng. Strontium isotope characterization and major ion geochemistry of karst water flow, Shentou, northern China. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.328, n.3, p.592-603, 2006.

WICKS, Carol M.; ENGELN, Joseph F. Geochemical evolution of a karst stream in Devils Icebox Cave, Missouri, USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, vol.198, n.1-4, p.30-41, 1997.

WILLIAMS, P. World Heritage Caves and Karst: A Thematic Study: A global review of karst World Heritage properties: present situation, future prospects and management requirements. Switzerland: IUCN, 2008.

ZAGORC-KONČAN, Jana; DULAR, Milan; ŠOEMEN, Jernej. Evaluation of dissolved oxygen balance in two shallow turbulent Slovene streams. **Water Research**, Philadelphia, vol.25, n.11, p.1357-1363, 1991.

ZHANG, Ya.; KELLY, Walton.; PANNO, Samuel.; LIU, Wen-Tso. Tracing fecal pollution sources in karst groundwater by Bacteroidales genetic biomarkers, bacterial indicators, and environmental variables. **Science of the total environment**, Barcelona, vol.490, p.1082-1090, 2014.

Recebido em: 20/10/2017

Aceito para publicação em: 10/07/2018