

# UTILIZAÇÃO DE ANÁLISES HIDROQUÍMICAS E DA METODOLOGIA COP PARA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE DO AQUIFERO CÁRSTICO SALITRE NA REGIÃO DE IRECÊ-BA.

*Tereza Cristina Bittencourt Nossa<sup>1</sup>; Luiz Rogério Bastos Lea<sup>2</sup>; Maria do Rosário Zucchi<sup>3</sup> & Antônio Expedito Gomes de Azevedo<sup>4</sup>*

Resumo - O aquífero cárstico Salitre localiza-se na microrregião da Bacia de Irecê, situada na região centro-norte do estado da Bahia, compreendendo parte dos municípios de Irecê e Lapão, perfazendo uma área de 250km<sup>2</sup>. Foram analisados 40 parâmetros físico-químicos e 32 compostos semi-voláteis (agrotóxicos), sendo obtidos teores mais elevados que os valores máximos permitidos pelas legislações aplicáveis para os seguintes elementos: cálcio, magnésio, dureza total, sólidos totais dissolvidos, sulfato, fluoreto, nitrato, nitrito, cloreto e arsênio. Das amostras analisadas 51,62% são caracterizadas como águas Bicarbonatadas Cálcicas e Mistas e 48,38% apresentam características de águas Cloretadas Cálcicas e Mistas, indicando que não houveram grandes alterações na qualidade das águas do aquífero Salitre ao longo dos últimos 30 anos. A análise dos atributos da Metodologia COP permitiu a delimitação de três classes de vulnerabilidade na área: Moderada (53%), Baixa (40%) e Muito Alta (7%).

Palavras-chave Metodologia COP; hidroquímica; vulnerabilidade à contaminação.

Abstract - The karst aquifer Salitre is located in the micro Irecê Basin, located in the north central part of Bahia state, comprising the municipalities of Irecê and Lapão, covering an area of 250km<sup>2</sup>. We analyzed 40 chemical-physical parameters and 32 semi-volatile compounds (pesticides), obtaining higher levels than the maximum permitted by applicable laws for the following elements: calcium, magnesium, total hardness, total dissolved solids, sulfate, fluoride, nitrate, nitrite, chloride and arsenic. 51.62% of the analyzed samples are characterized as Calcic Bicarbonated and Mixed water and 48.38% have features of Calcic Chlorinated and Mixed water, indicating that there were no major changes in water quality in the aquifer Salitre over the past 30 years. The analysis of the attributes of COP Methodology allowed the delineation of three classes of vulnerability in the area: Moderate (53%), Low (40%) and Very High (7%).

Keywords: Methodology COP; hydrochemistry; vulnerability to contamination.

---

<sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Av. Ulysses Guimarães, 2862, CAB. CEP: 41.213-000. Salvador (Ba). E-mail: [tereza.nossa@cprm.gov.br](mailto:tereza.nossa@cprm.gov.br)

<sup>2</sup> Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Av. Ademar de Barros, s/n - Campus Universitário de Ondina. CEP 40.170-110 Salvador (Ba). E-mail: [lrogerio@ufba.br](mailto:lrogerio@ufba.br)

<sup>3</sup> Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Av. Ademar de Barros, s/n - Campus Universitário de Ondina. CEP 40.170-110, Salvador (Ba). E-mail: [mrzucchi@ufba.br](mailto:mrzucchi@ufba.br)

<sup>4</sup> Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Av. Ademar de Barros, s/n - Campus Universitário de Ondina. CEP 40.170-110, Salvador (Ba). E-mail: [expedito@ufba.br](mailto:expedito@ufba.br)

## 1. INTRODUÇÃO

As regiões cársticas, como a micro-região de Irecê, normalmente são áreas de grande interesse econômico e hidrogeológico porque, na maioria das vezes, apesar de apresentarem uma baixa densidade de drenagem superficial, possuem valiosas reservas de água no subsolo.

O monitoramento das águas subterrâneas, de acordo com o manual da UNESCO (Vrba & Soblsek, 1988), é um dos instrumentos mais importantes para a viabilização de estratégias e políticas de proteção e conservação desses recursos. A implantação de programas de monitoramento das águas subterrâneas auxilia na melhoria do seu planejamento, proteção e manejo. Dessa forma, a cartografia de vulnerabilidade de aquíferos aplicada à contaminação é um dos métodos mais adequados para contribuir com a preservação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

Vrba & Zaporozec (1994), analisaram várias técnicas de mapeamento de vulnerabilidade com aplicações em aquíferos distintos e constataram a sua utilização, sobretudo, para resolver problemas de contaminação em áreas críticas.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de pesquisa é formada por um polígono que compreende parte dos municípios de Irecê e Lapão, no estado da Bahia, com uma área de aproximadamente 250km<sup>2</sup>.

A litologia é formada por rochas essencialmente carbonáticas da Formação Salitre de idade Neoproterozóica, com feições cársticas bem desenvolvidas, que juntamente com zonas de fraturamento, constituem os reservatórios de grande expressividade do ponto de vista de recepção, armazenamento e circulação de águas subterrâneas.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A qualidade das águas foi avaliada por Nossa (2011), perfazendo um total de 40 parâmetros físico-químicos e 32 compostos semi-voláteis (agrotóxicos), seguindo as recomendações especificadas pelo Laboratório de Águas Minerais da CPRM - LAMIN, baseadas em SMEWW (Clesceri, *et al.*, 1998).

### 3.1. Análise físico-química

As análises físico-químicas foram realizadas considerando-se os cátions: alumínio, antimônio, arsênio, bário, berílio, boro, cádmio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, estanho, estrôncio, ferro, lítio, magnésio, manganês, molibdênio, níquel, potássio, selênio, silício, sódio, titânio, vanádio e zinco; além dos ânions: brometo, cloreto, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito e sulfato. Selecionou-se para análise também o carbonato e bicarbonato, em função da litologia carbonática da área e os parâmetros dureza total, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e pH. Para as análises dos ânions foi utilizado o método de Cromatografia Iônica e para as análises dos cátions foi utilizado o método ICP-OES.

### 3.2. Análise de compostos orgânicos semi-voláteis (agrotóxicos)

Os compostos orgânicos semi-voláteis analisados compreenderam 32 parâmetros, dentre os sugeridos pelas legislações aplicáveis e aqueles que são analisados pelo LAMIN: Hexachlorobenzene, Lindane, Heptachlor, Heptachlor Epoxide, Aldrin, Dieldrin, Glifosato, Gamma-Chlordane, Alpha-Chlordane, 4,4-DDT, Endrin, Methoxychlor, Molinate, Trifluralin, Simazine, Propanil, Pendimetalina, Atrazine, Alachlor, Metolachlor, Endosulfan I, Endosulfan II, Endosulfan Sulfate, Permethrin, 2,4,6-Trichlorophenol, 2,4-D, Pentachlorophenol, Bentazone, Chlorothalonil, Melathion, Chlorpyrifos e P,P-DDE.

O preparo das amostras foi efetuado utilizando-se a técnica de Extração em Fase Sólida (SPE). A análise cromatográfica foi realizada pelo método de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS). O equipamento utilizado foi um GC-MS 4000 Varian.

### 3.3. Metodologia COP

No Brasil não existem metodologias específicas para a determinação da vulnerabilidade intrínseca de aquíferos cársticos. Desta forma, foi selecionada a Metodologia COP desenvolvida por Vias *et al.*, (2002, 2006), originada em locais de clima semi-árido da Espanha, similar às condições climáticas da área de estudo, para efetuar essa avaliação.

A Metodologia COP foi desenvolvida para avaliar a vulnerabilidade intrínseca à contaminação de aquíferos cársticos através do produto dos fatores (C, O e P), agrupados em cinco classes de variação: Muito Alta, Alta, Moderada, Baixa e Muito Baixa, com índices que variam em intervalos de (0 a 15), indicando para valores mais baixos, uma maior vulnerabilidade (Figura 1). Sendo utilizada com sucesso em aquíferos cársticos considerando-se diferentes graus de carstificação e sistemas de fluxo tanto concentrados como difusos, podendo ser submetidos a diferentes condições climáticas. Além disso, essa metodologia estabelece diretrizes detalhadas, tabelas e fórmulas para a avaliação da vulnerabilidade e indica as variáveis, parâmetros e fatores a serem utilizados. Sendo uma metodologia amplamente aplicada tanto na Espanha onde foi desenvolvida, como também em vários outros países do mundo com condições litológicas e hidrogeológicas similares.

Os índices de vulnerabilidade - Índices COP, são variáveis de acordo com o zoneamento atribuído para cada classe, mediante condições específicas de Concentração do Fluxo (C), Cobertura da Zona Saturada (O) e Precipitação (P), calculadas na área de estudo.

O Fator (C) representa a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, em função da infiltração da água através da camada de proteção. Dessa forma, este fator representa o grau com que as águas das chuvas atravessam a zona não saturada e infiltram no interior das cavidades cársticas.

O Fator (O) considera a proteção fornecida para o aquífero em função de propriedades físicas, como textura e litologia e espessura das camadas acima da zona saturada.

O Fator (P) inclui tanto a quantidade de precipitação da área, como também fatores que influenciam na taxa de infiltração, como: frequência, distribuição temporal, duração e intensidade de eventos de chuvas extremos. Esses fatores determinam a atuação da precipitação no transporte de contaminantes da superfície para o aquífero.

Índice COP	Classes de Vulnerabilidade
[0 – 0,5]	Muito alta
[0,5 – 1,0]	Alta
[1,0 – 2,0]	Moderada
[2,0 – 4,0]	Baixa
[4,0 - 15]	Muito baixa

⇒ Índice COP = Fator C x Fator O x Fator P

Figura 1: Intervalos e classes de vulnerabilidade da Metodologia COP.

## 4. RESULTADOS

Os mapas temáticos foram gerados (Figura 2): Mapa Hidrogeológico, Mapa de Dolinas e Fraturas, Mapa de Declividade e Mapa de Uso e Ocupação dos Solos, de forma a possibilitar o cruzamento das informações obtidas com os índices calculados pela Metodologia COP (Figura 1), para a geração do Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca à Contaminação da área (Figura 3).

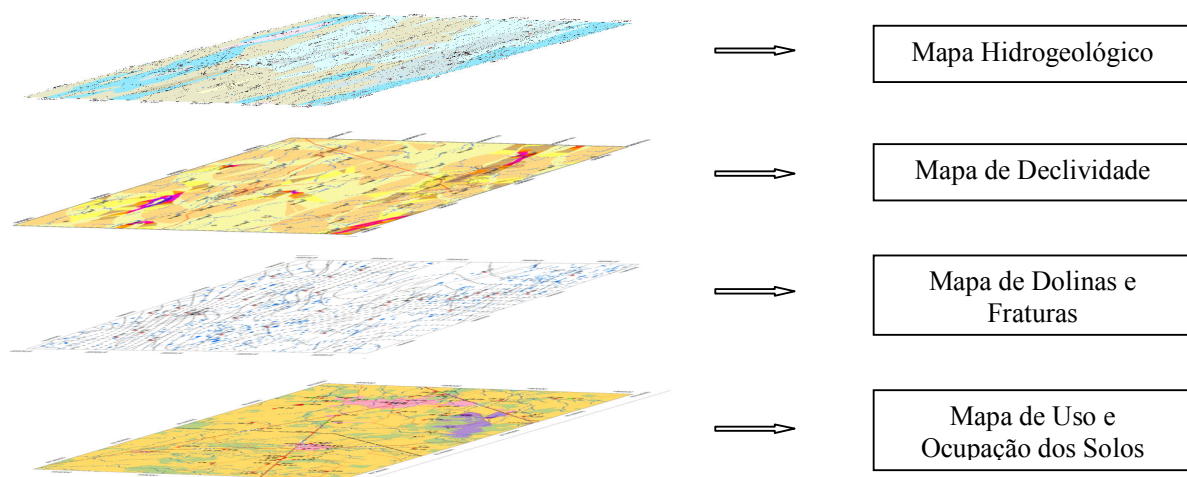


Figura 2: Esquema representativo da correlação entre os mapas temáticos gerados: Mapa Hidrogeológico, Mapa de Declividade, Mapa de Dolinas e Fraturas e Mapa de Uso e Ocupação dos Solos (Nossa, 2011).

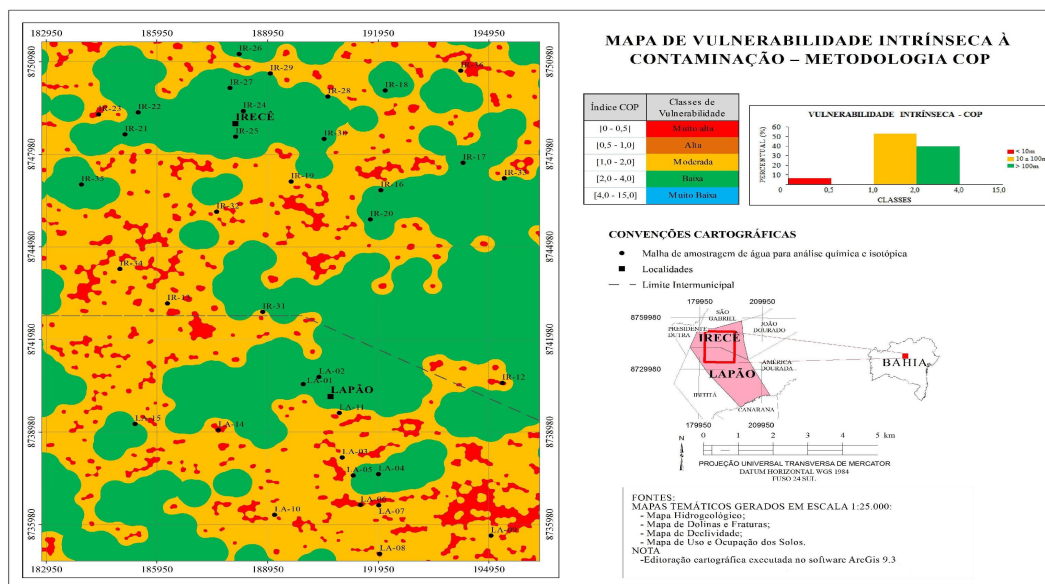


Figura 3: Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca à Contaminação - Metodologia COP (Nossa, 2011).

## 5. CONCLUSÕES

Os elementos que apresentam valores acima dos limites máximos permitidos para potabilidade, constantes nas legislações aplicáveis foram listados, considerando-se a sua ocorrência em relação ao percentual de amostras analisadas: cálcio (100,00%), magnésio (50,00%), dureza total (52,82%), sólidos totais dissolvidos (11,12%), fluoreto (5,56%), cloreto (13,9%), nitrito (2,78%), nitrato (83,4%) e sulfato (5,56%).

As análises efetuadas demonstraram que em todas as amostras coletadas os compostos semi-voláteis (agrotóxicos) não foram detectados, significando que esses compostos podem se encontrar em quantidades muito reduzidas e, portanto, não detectáveis ou mesmo ausentes no momento da coleta, uma vez que o sistema de fraturamentos, juntamente com os condutos formados por processos de dissolução de  $\text{CaCO}_3$  na área, propiciam uma circulação rápida do fluxo nesses

sistemas. Aliado ao fato de que, as propriedades na área são caracterizadas como minifúndios com a prática da agricultura de subsistência, o que implica em uma utilização minimizada de agrotóxicos.

A análise dos Diagramas de Piper demonstra que das amostras analisadas 51,62% são caracterizadas como águas Bicarbonatadas Cálcicas e Mistas e 48,38% apresentam características de águas Cloretadas Cálcicas e Mistas. Essa classificação é corroborada por dados históricos obtidos na área, indicando que não houveram grandes alterações na qualidade das águas do aquífero Salitre ao longo dos últimos 30 anos.

A análise dos atributos da Metodologia COP permite constatar a delimitação de 3 classes de vulnerabilidade na área: Moderada (53%), Baixa (40%) e Muito Alta (7%), obtidas com base nos cálculos efetuados e no cruzamento dos dados obtidos nos mapas temáticos gerados: Mapa Hidrogeológico, Mapa de Declividade, Mapa de Dolinas e Fraturas e Mapa de Uso e Ocupação dos Solos. Dessa forma, foi possível constatar que os fatores que mais influenciaram nos índices COP gerados na área foram: o fator “C”, nas áreas de influência das feições cársticas (dolinas e sumidouros), constituindo a delimitação das classes de vulnerabilidade Muito Alta e Moderada, devido à intensidade dos processos de carstificação e à presença de fraturas; e o fator “O” atuante em toda a área, inclusive nas zonas em que não ocorrem processos de carstificação, delimitadas como classe de vulnerabilidade Baixa. O fator “P” é constante, em função do tamanho da área, não contribuindo de forma direta para o zoneamento de vulnerabilidade no aquífero Salitre.

É importante salientar, que nem todos os pontos amostrados em que os valores dos elementos químicos analisados apresentam teores acima dos valores máximos permitidos, se concentram nas zonas de vulnerabilidade mais elevadas e vice-versa, uma vez que o mapa elaborado com a utilização da Metodologia COP é um mapa de vulnerabilidade intrínseca do meio físico à contaminação.

## 6. REFERÊNCIAS

- CLESCERI, L. S., Greenberg, A. E., Eaton, A. D., 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> ed. American Public Health Association, Washington. 1325 p. ISBN 0875532357.
- NOSSA, T. C. B., 2011. Avaliação da vulnerabilidade do aquífero cárstico Salitre - Bahia, através de análises hidroquímicas, isotópicas e aplicação da metodologia COP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 226p.
- VÍAS, J. M.; Andreo, B.; Perles, M. J.; Carrasco, F.; Vadillo, I.; Jiménez, P., 2002. Preliminary proposal of a method for contamination vulnerability mapping in carbonate aquifers. En: Carrasco, F. Durán, J. J. y Andreo, B. (Eds.). Karst and Environment. p.75-83.
- VÍAS, J. M., Andreo, B., Perles, M. J., Carrasco, F., Vadillo, I., Jiménez, P., 2006. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. Application in two pilot sites in Southern Spain. Hydrogeology Journal.
- VRBA J., Soblsek P., 1988. Groundwater monitoring. En Geology and Environment International Manual in three volumes. UNESCO. UNEP.
- VRBA, J., Zaporozec, A., 1994. Classification and review of groundwater vulnerability maps. En Vrba, J. y Zaporozec, A. (eds.). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International contributions to hydrogeology. (16):21-30.

## 7. Agradecimentos

Agradecemos à CPRM - Serviço Geológico do Brasil pelo apoio efetuado nos trabalhos de campo e pelas análises laboratoriais realizadas pelo LAMIN - Laboratório de Águas Minerais (CPRM/RJ).