

MODELO DE INFERÊNCIA FUZZY APLICADO AO MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DE AQUÍFEROS

Érico G. Lisboa¹; Ana Rosa B. Barp¹; Ronaldo L. Rodrigues Mendes²; Ellyton V. Saraiva¹

Resumo – O mapeamento da vulnerabilidade intrínseca pode ser obtido pela interpolação de Índices de Vulnerabilidade Intrínseca (IVI). No entanto, os IVI são limitados quanto a sua capacidade de interpretação, denotando incertezas. O objetivo deste artigo é propor um Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) capaz de produzir mapas mais realísticos via IVI fuzzy (IVI^(f)). O SIF foi processado pela “fuzzyficação” dos parâmetros do Sistema GOD (SIGOD) que são traduzidos por variáveis linguísticas baixa (B), média (M) e alta (A), lidas por Funções de Pertinência Triangular (FPT), via conjunto de regras (R_n) e operadas pelo modelo clássico de inferência fuzzy Mamdani. O IVI^(f), obtido por “desfuzzificação” pelo Método do Centro de Gravidade (MCG), foi interpolado por Krigagem Ordinária (KO). A acurácia do IVI^(f) à IVI foi calculada pela Abrangência do Grau de Vulnerabilidade (AGV). Aplicado em área de 1.619,34 km², na Região Metropolitana de Belém (RMB), o IVI^(f) produziu acréscimo ao AGV de 21,91% e 84,73%, quanto ao grau M e Extremo (E), respectivamente. O decréscimo registrado foi 27,28% ao grau de vulnerabilidade B, e 1,98% para A. O mapeamento sugerido foi aquele que adotou IVI^(f) apresentando uma postura conservadora em face da limitação de dados amostrais.

Abstract – The intrinsic vulnerability mapping can be obtained by interpolation Intrinsic Vulnerability Index (IVI). However, the IVI are limited in their ability to interpret, reflecting uncertainties. The aim of this paper is to propose a Fuzzy Inference System (FIS) capable of producing more realistic maps via fuzzy IVI (IVI^(f)). The FIS was sued by "fuzzyfication" the parameters of GOD System (SIGOD) that are translated by linguistic variables low (L), medium (M) and high (H), read by Triangular Member Functions (TMF), set via rules (R_n) and operated by the classical model of fuzzy inference Mamdani. The IVI^(f), obtained by "desfuzzification" at the Center of Gravity Method (CGM) was interpolated by Ordinary Kriging (OK). The accuracy of IVI^(f) was calculated by the IVI Scope of Degree of Vulnerability (SDV). Applied in an area of 1619.34 km² in the Metropolitan Region of Belem (MRB), IVI^(f) produced the addition of SDV 84.73% and 21.91%, the degree M and extreme (E), respectively. The decrease was 27.28% recorded the degree of vulnerability L and 1.98% for H. The mapping was suggested that he adopted IVI^(f) adopting a conservative stance in the face of limited sample data.

Palavras-Chave – Mapeamento da Vulnerabilidade Intrínseca; Sistema GOD; Sistema de Inferência Fuzzy.

¹ Universidade Federal do Pará (UFPA): Rua Augusto Corrêa, 01, CEP 66075-900 ; 91-32017384, erico@ufpa.br; anabarp@ufpa.br; ellytonvs@hotmail.com

² Núcleo de Meio Ambiente (NUMA/UFPA): Rua Augusto Corrêa, 01, CEP 66075-900 ; 91- 32017652, rmendes@ufpa.br

INTRODUÇÃO

O mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos tem como um dos fundamentos a Base de Conhecimento Hidrogeológico Generalizada (BCHG). A BCHG prediz que a vulnerabilidade tem aporte na hidrogeologia geral do transporte de contaminantes, quantificado por um IVI, composto de parâmetros que representam, de forma qualitativa, variáveis hidrogeológicas, tónica dos sistemas paramétricos DRASTIC, SINTACS e GOD.

O IVI tem uma importância vaga pela manipulação de parâmetros ponderados, alguns dos quais apresentam forte correlação e sobreposição, denotando incertezas. Logo, se faz necessário a adoção de um sistema de especialista (SE), fundamentado na teoria dos conjuntos fuzzy, para tratar as incertezas a partir de R_n que se adéquem as condições hidrogeológicas localizadas.

Chen (1996) adotou um SE para avaliação multi-objetiva dos parâmetros componentes de um IVI, adotando o sistema DRASTIC. Shouyu e Guangtao (2003) desenvolveram uma metodologia de reconhecimento fuzzy padrão, para avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas, a fim de melhor tratar as incertezas do índice DRASTIC ($I_{DRASTIC}$). Ebtehaj (2002) e Afshar et al., (2007) produziram um $IVI^{(f)}$ a partir da construção de um SIF composto de sete parâmetros hidrogeológicos. Tais parâmetros foram categorizados em graus B, M e A. O $IVI^{(f)}$ foi obtido pelo MCG como processo de “desfuzzificação”, e interpolado pelo método das isolinhas através do software MATLAB[®] 7.0. Os autores concluíram que o SIF tem potencial para facilitar a modelagem de vulnerabilidade de aquíferos em escala regional, e pode ser usado para outras regiões, especialmente no caso de escassez de dados. Os mesmos ressaltam a incorporação de variáveis de entrada apropriadas e R_n adequadas para a região.

Portanto, o objetivo deste artigo é propor a construção de um SIF, por meio do SIGOD, posto que o mesmo necessita de apenas três variáveis hidrogeológicas, gerando um $IVI^{(f)}$ proporcionando um mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos mais acurado, mitigando as incertezas.

METODOLOGIA

A construção do SIF, adota a teoria dos conjuntos fuzzy. O conjunto fuzzy, considera os parâmetros do SIGOD variáveis de entrada, as quais são traduzidas por meio de variáveis linguísticas B, M e A e interpretadas pela FPT, aferidas por 27 regras (R_{27}) e operadas através do modelo clássico de inferência fuzzy Mamdani. Posterior a isto, se

calculou o $IVI^{(f)}$, obtido pelo processo de “desfuzzificação” através do MCG, denotando os termos linguísticos referente à cinco classes de vulnerabilidade Insignificante (I), B, M, A e E interpretadas, originalmente, por Foster e Hirata (1988). Todo o processo metodológico adotado para a construção do SIF (Figura 1) é modelado pelo software MATLAB® 7.0.

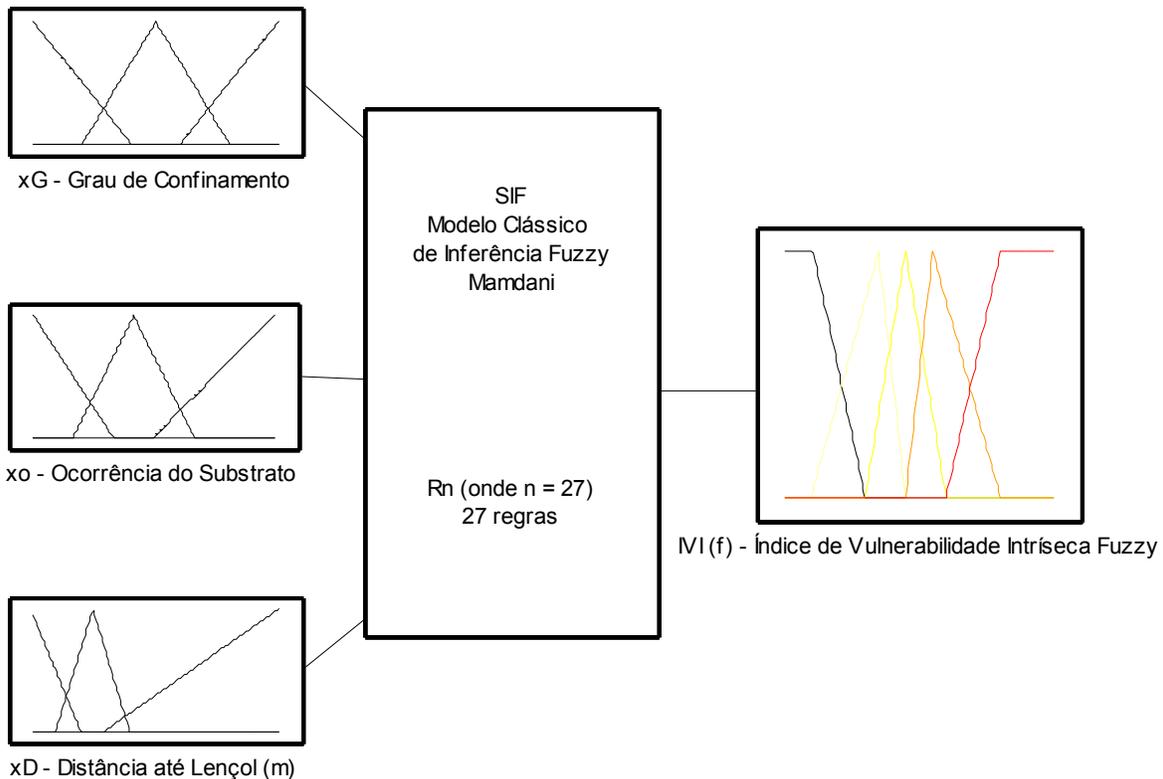


Figura 1. Arquitetura adotada na construção do SIF a partir do SIGOD.

Já a interpolação espacial dos índices é realizada via software SURFER® 8.0. Os dados de análise, concebido do modelo fuzzy, via SIGOD, foram coletados e compilados através do Projeto de Estudos Hidrogeológicos da RMB, confeccionado pela Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM) (2001).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

O $IVI^{(f)}$, quando interpolado, mapeou uma área de 474,03 km² à 829,72 km² pelo IVI quanto ao grau de B vulnerabilidade na RMB. O modelo fuzzy proporcionou uma leitura de 151,78 km² ao grau de E vulnerabilidade, já o IVI abrangeu, apenas, 12,55 km², tendo um AGV é igual a 84,73% (Figura 1). Por outro lado, o grau M obteve um AVG igual a 21,91%, isto é, o $IVI^{(f)}$ abrangeu 668,84 km² enquanto que o IVI mapeou 428,39 km². O grau I não foi aferido pelo $IVI^{(f)}$ (Figura 2).

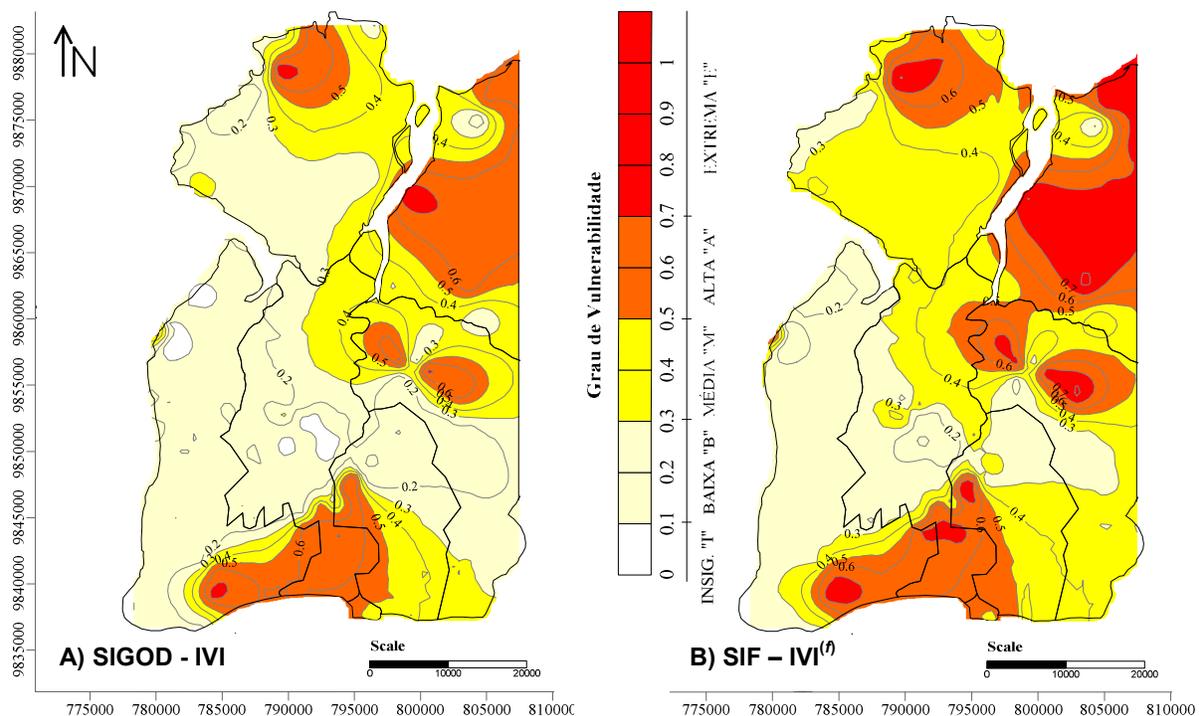


Figura 2. Mapa da Vulnerabilidade Intrínseca adotando: A) SIGOD e B) SIF.

O SIF, o qual produziu $IVI^{(n)}$, consubstanciado a KO, em comparação ao SIGOD, foi o que melhor avaliou e mapeou o respectivo a vulnerabilidade na RMB, diminuindo as incertezas, direcionando um gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneo mais confiável por se mostrar conservador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFSHAR, A., Marino, M. A., Ebtehaj, M., and Moosavi, J. (2007). "Rule-based fuzzy system for assessing groundwater vulnerability." *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 133(5), 532-540;

CHEN, S. Y. (1996) Non-structured decision making analysis and fuzzy optimum seeking theory for multi-objective systems. *J. Fuzzy Math.* 4(2), 835–842;

CPRM. 2001. *Projetos de Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências*. Belém. 110 p;

EBTEHAJ, M. (2002). "Rule-based fuzzy systems for assessing groundwater vulnerability." MS thesis, Iran Univ. of Science and Technology, Tehran, Iran;

FOSTER, S. S. D. e R. HIRATA. 1988. "Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data." *WHOPAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual*. Lima, Peru.