

## APLICAÇÃO DE LÓGICA DIFUSA NA QUALIFICAÇÃO DE IMPACTE AMBIENTAL EM ESCOMBREIRAS DE MINAS ABANDONADAS DO NW DE PORTUGAL

T. Maria Valente; C. Leal Gomes

Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos (CIG-R) – Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

### RESUMO

A magnitude de impacte ambiental em escombreliras abandonadas exprime-se através de um índice numérico, variável no intervalo [0,1], que se denominou de índice de impacte ambiental –  $I_{IA}$ . O seu cálculo faz-se através de um sistema de inferência de lógica difusa, que permite a integração de diversas componentes de caracterização. Este sistema de inferência desenvolveu-se com base na descrição do impacte ambiental em locais seleccionados no NW de Portugal, afectados por escombreliras abandonadas. Estes locais, considerados representativos do espectro de diversidade no território em causa, assumem o estatuto de padrões regionais. O  $I_{IA}$  pode ser aplicado a outras escombreliras, que apresentem indicadores de impacte balizados pelos padrões regionais.

### ABSTRACT

The extent of environmental impact related to abandoned mining waste dumps is expressed through a numeric index, variable in the interval [0,1], and named as environmental impact index –  $I_{IA}$ . Its determination was made through a fuzzy inference system, which allows the integration of several characterization components. This system is supported by the characterization of some selected sites in the NW Portugal. These sites are representative of regional patterns and regional diversity, in which concerns environmental impact. The  $I_{IA}$  index can be applied to other sites affected by mining residues in this territory, assuming that the values of the environmental impact indicators are in the same range as the achieved regional limits.

### Introdução

A qualificação do impacte ambiental associado a escombreliras abandonadas no NW de Portugal fez-se através de um modelo de lógica difusa. O seu desenvolvimento foi suportado por um vasto conjunto de dados respeitantes a cinco áreas mineiras seleccionadas neste território - Valdarcas, Cerquido, Cabração-Lourinhal, Carris e Adoria. Estas representam a diversidade de situações de impacte ambiental associado a escombreliras abandonadas, resultantes de pequenas explorações de minérios metálicos. São por isso usadas como padrões regionais (Valente, 2004).

A integração de informação diversificada e expressa em unidades não comparáveis pode ser concretizada recorrendo aos fundamentos dos sistemas de inferência de lógica difusa. Estes sistemas permitem lidar com dados distribuídos de forma desconhecida e/ou imprecisa, incluindo dados de natureza qualitativa descritos em linguagem natural. Estes dados são convertidos para um formato numérico de fácil manipulação, em sistemas que exijam a atribuição de um índice quantitativo (Demicco *et al.*, 2004). Esta possibilidade representa uma valorização de dados que geralmente não são incorporados em modelos numéricos. A capacidade de lidar com o conceito de imprecisão resulta da introdução do conceito de grau de pertença ou de afinidade de um elemento relativamente ao seu conjunto. A lógica difusa é portanto uma abordagem adequada para lidar com a base de conhecimento que resulta da caracterização dos padrões regionais, principalmente dos que respeitam às escombreliras mais reactivas, geradoras de drenagem ácida. Dessa base de conhecimento fazem parte indicadores quantitativos, obtidos através de ferramentas analíticas, e indicadores qualitativos, relacionados por exemplo com a percepção dos fenómenos naturais, resultante de observações de campo, a qual é mais bem expressa em “linguagem natural”.

Propõe-se um modelo difuso, susceptível de aplicação em sistemas mineiros distintos, com a capacidade de gerar um índice de impacte ambiental ( $I_{IA}$ ). Este é um índice composto, o qual é entendido como uma qualificação numérica de informação com diferentes origens, capaz de exprimir a magnitude do impacte ambiental das escombreliras presentes neste território, no intervalo de valores [0,1].

### Caracterização dos padrões regionais

Na figura 1 apresentam-se as unidades extractivas, entendidas como padrões regionais e as respectivas mineralizações úteis. O estatuto de ordenamento das áreas em que se inserem (no âmbito da conservação da Natureza) foi uma das componentes de caracterização consideradas. A este respeito os padrões enquadram-se em duas situações: i) localização em ambiente protegido (caso dos Carris, no Parque Nacional da Peneda-Gerês) e ii) localização em áreas sem estatuto de protecção especial.

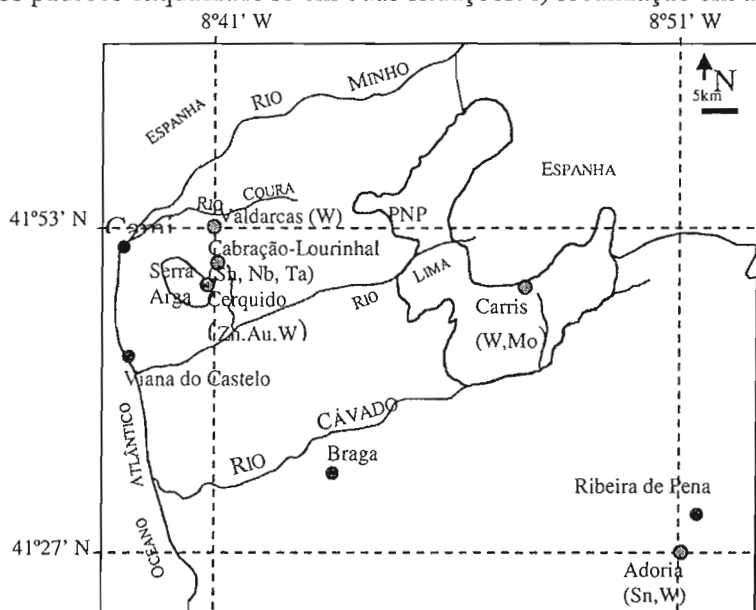


Figura 1 - Apresentação dos padrões regionais.  
PNPG – Parque Nacional Peneda-Gerês.

Mas a diversificação entre os padrões deriva, em grande parte, das propriedades mineralógicas dos resíduos acumulados em escombreira. Delas depende a posição que cada um ocupa numa série de reactividade, a qual por sua vez determina a contribuição da drenagem ácida para o impacto ambiental. Quanto a esta componente, definem-se as seguintes situações extremas:

- escombreyas reactivas – resultantes de explorações mobilizadoras de minerais com baixa estabilidade em ambiente supergénico; Valdarcas é o padrão de máxima reactividade, devido à

abundância de estereis finos ricos em sulfuretos; o impacto ambiental tem origem nas águas de drenagem ácida, cuja descarga nos sistemas fluviais desencadeia a contaminação;

- escombreyas pouco reactivas ou inertes – resultantes de exploração incidente sobre jazigos com paragénese portadoras de minerais estáveis em ambiente supergénico; Cabração-Lourinhal apresenta a reactividade mínima devido à ausência de sulfuretos; nestes casos a drenagem ácida não é foco de impacto ambiental.

Para além do estatuto de ordenamento e da drenagem ácida definiram-se outras componentes de caracterização, com influência sobre a magnitude de impacto, tais como a degradação da paisagem e o estado actual da reabilitação.

### Sistema de inferência difuso usado para o cálculo de $I_{IA}$

A cada componente de caracterização associou-se um termo correspondente a um dos seguintes níveis, equivalentes a classes de magnitude de impacto ambiental – classe de maior impacto, classe de impacto intermédio e classe de menor impacto. A determinação do  $I_{IA}$  faz-se através de um sistema de inferência que modela estas três classes e que recorre ao operador de agregação de Yager, apresentado em Jang *et al.* (1997). Este operador contempla a possibilidade de atribuir graus de importância ( $w$ ) às variáveis do sistema de inferência (que são as componentes de caracterização). Na figura 2 exemplifica-se este sistema de inferência difuso para duas variáveis genéricas  $x$  e  $y$ , que assumem os valores  $x_i$  e  $y_i$  respectivamente.

O grau de importância das componentes consideradas ( $w$ ) é um valor numérico variável de 1 a 8, que resulta da hierarquização por ordem crescente da sua contribuição para a magnitude de impacto ambiental. Considerou-se que a drenagem ácida é a componente mais importante, atribuindo-se-lhe por isso o grau 8. Na figura 3 apresentam-se as funções de pertença ( $\mu$ ) de tipo bell (Jang *et al.*, 1997), que modelam as componentes de caracterização e o grau de importância que se atribuiu a cada uma.

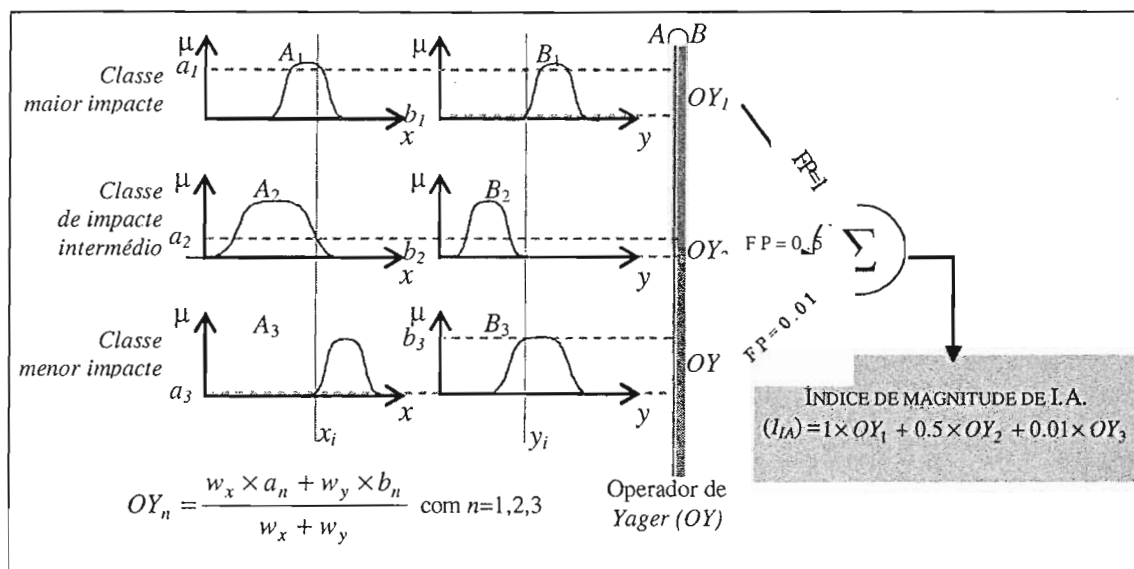
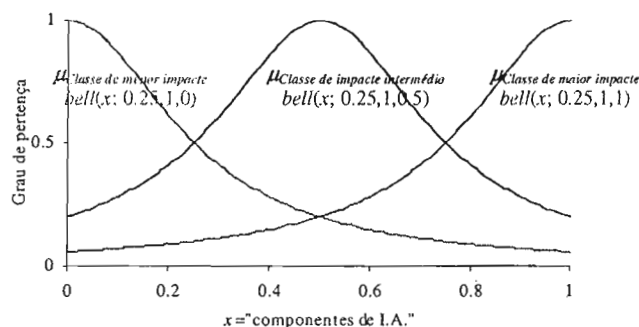


Figura 2 - Exemplo de aplicação do sistema de inferência que permite obter o  $I_{IA}$ , com base em duas componentes genéricas  $x, y$ . As classes de maior impacte, impacte intermédio e menor impacte estão definidas pelos pares de conjuntos difusos  $\{A_1, B_1\}$ ,  $\{A_2, B_2\}$  e  $\{A_3, B_3\}$  respectivamente. FP – factor de ponderação.



COMPONENTES DE CARACTERIZAÇÃO.	TERMOS DE CARACTERIZAÇÃO			w - GRAU DE IMPORTÂNCIA
	Classe de menor impacte	Classe de impacte intermédio	Classe de maior impacte	
Índice de drenagem ácida	Baixo	Médio	Elevado	8
Estatuto de ordenamento	Sem estatuto especial	Protecção parcial	Protecção restritiva	7
Afectação dos usos da água	Irrelevante	Uso ecológico	Consumo humano	6
Relação das escombreyras com o povoamento	Isolada	Na área de influência de povoações	No interior de povoações	5
Estado de reabilitação	Avançado	Moderado	Ausente	4
Degradação da paisagem	Irrelevante	Média	Elevada	3
Área de ocupação de solo	Pequena	Média	Grande	2
Estado de degradação de infra-estruturas mineiras	Baixo	Moderado	Avançado	1

Figura 3 - Modelação difusa das componentes de impacte ambiental—funções de pertinência que representam as classes de impacte e hierarquização das componentes. O índice de drenagem ácida exprime a contribuição da drenagem ácida para o impacte ambiental, sendo determinado de acordo com o modelo proposto por Valente (2004).

**Conclusão**

O conceito de impacte ambiental é geralmente vago ou pouco rigoroso, na medida em que reflecte a importância que cada instância atribui às componentes ambientais. Assim sendo, a filosofia de ponderação, qualquer que ela seja, é subjectiva e por isso susceptível de grande discussão, mas pode ser definida à partida através de critérios que tornem funcional o procedimento analítico.

Na figura 4 propõe-se uma avaliação de impacte ambiental para os cinco padrões de impacte ambiental mineiro, que se expressa através do  $I_{IA}$ .

A atribuição dos valores para as componentes consideradas baseia-se na caracterização apresentada por Valente (2004). A definição e hierarquização destas componentes, bem como a sua valorização expressa na figura 4, não são desprovidas de subjectividade. Por exemplo o caso dos Carris, principalmente se comparado com o da Adoria, mostra de que forma o impacte ambiental pode ser potenciado pela importância dada ao estatuto de ordenamento. Deste estatuto dependem as exigências de qualidade ambiental de um território. Considerou-se por isso, que a existência de escombreiras e de infra-estruturas mineiras muito degradadas é particularmente penalizante numa área protegida, com interesses elevados no âmbito da conservação da Natureza, como é o caso da área de protecção restrita do Parque Nacional da Peneda-Gerês, onde se insere a mina dos Carris. O maior  $I_{IA}$  observa-se em Valdarcas e é uma consequência do carácter reactivo da escombreira. A influência da drenagem ácida estende-se a outras componentes, como sejam a degradação da paisagem, e potencialmente os usos da água no rio Coura. Apesar disto o estado de reabilitação da escombreira interfere positivamente no índice de impacte, contribuindo para a sua diminuição.

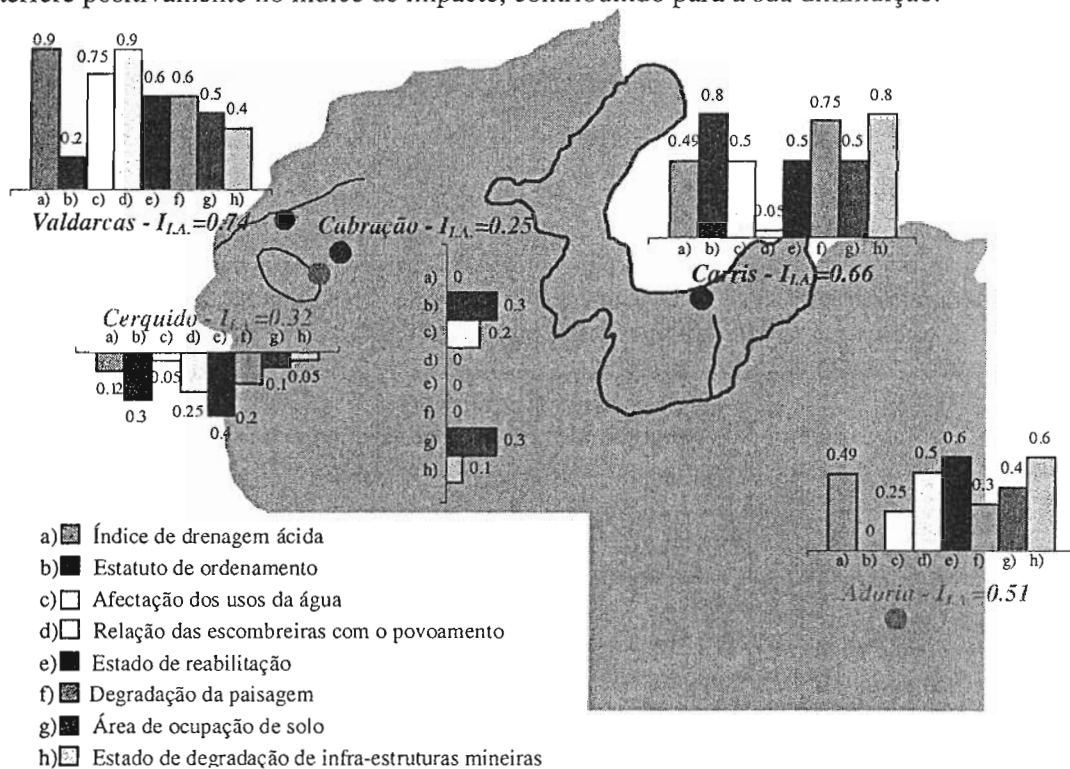


Figura 4 - Avaliação de impacte ambiental através do índice de magnitude de impacte. O cálculo do IIA resulta da proposta de valorização das componentes, que se expressa nas representações gráficas, para cada padrão.

Em contrapartida o menor  $I_{IA}$ , na área mineira da Cabração-Lourinhal, deve-se fundamentalmente à ausência de indicadores de drenagem ácida, em consequência do carácter inerte da escombreira. Esta característica, herança da paragénesse do depósito primário pegmatítico, facilitou a reabilitação natural.

O  $I_{IA}$  aplicado à avaliação do impacte ambiental no exercício demonstrativo da figura 4, pode ser estendido a outras escombreiras abandonadas, que apresentem indicadores balizados por estes padrões regionais.

**Bibliografia**

Demicco, V., Klir, J., 2004. Fuzzy logic in geology. Elsevier Academic Press, San Diego, 347p.

Jang, R., Sun, T., Mizutani, E., 1997. Neuro-fuzzy and soft computing. Matlab Curriculum Series, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 614p.

Valente, T., 2004. Modelos de caracterização de impacte ambiental para escombrelras reactivas – equilibrio e evolução de resíduos.