



UTILIZAÇÃO DE PLANILHA ELETRÔNICA NO ÂMBITO DO ESTUDO DE VULNERABILIDADE INTRÍSECA DE AQUÍFEROS

JOSANA DE MELLO DANTAS; MANOEL JERÔNIMO MOREIRA CRUZ

BONITO - MS
2012

VULNERABILIDADE

Conceito de vulnerabilidade → década de 1970, na França
década de 1980
(ALBINET; MARGAT, 1970)
Modo mais amplo
Ambito da hidrogeologia

“Vulnerabilidade natural de um aquífero”
(RUSSO, 2009) → Susceptibilidade do aquífero vir
a ser contaminado.

Considerada em como uma propriedade do aquífero,
a vulnerabilidade (vulnerabilidade específica)

MÉTODO DRASTIC (ALLER et al., 1987)

D - Depth to Water			R - (Net) Recharge			A - Aquifer Media			
D - Profundidade da água			R - Recarga (líquida)			A - Tipo de aquífero			
Faixa (feet)	Faixa (m)	Classificação	Faixa (inches)	Faixa (mm)	Classificação	Faixa (Inglês)	Faixa (Português)	Classificação	Classificação típica
0 - 5	0 - 1,52	10	0 - 2	0 - 50,8	1	Massive Shale	Xisto maciço	1 - 3	2
5 - 15	1,52 - 4, 57	9	2 - 4	50,8 - 101,6	3	Metamorphic/Igneous	Metamórfica / Ígnea	2 - 5	3
15 - 30	4,57 - 9,14	7	4 - 7	101,6 - 177,8	6	Weathered Metamorphic/Igneous	Metamórfica / Ígnea intemperizados	3 - 5	4
30 - 50	9,14 - 15,24	5	7 - 10	177,8 - 254	8	Glacial Till	Till Glacial	4 - 6	5
50 - 75	15,24 - 22,86	3	>10	> 254	9	Bedded Sandstone, Limestone and Shale Sequences	Camadas de arenito , calcário e sequências de xisto	5 - 9	6
75 - 100	22,86 - 30,48	2	T - Topography (Slope)			Massive Sandstone	Arenito maciço	4 - 9	6
> 100	> 30,48	1	T - Topografia (declividade)			Massive Limestone	Calcário maciço	4 - 9	6
S - Soil Media			Faixa (Percent Slope)	Faixa (Declividade %)	Classificação	Sand and Gravel	Areia e Cascalho	4 - 9	8
S - Tipo de Solo			0 - 2	0 - 2	10	Basalt	Basalto	2-10	9
Faixa (Inglês)	Faixa (Português)	Classificação	2 - 6	2 - 6	9	Karst Limestone	Calcário cárstico	9 - 10	10
Thin or Absent	Fino ou ausente	10	6 - 12	6 - 12	5	I - Impact of the Vadose Zone Media			
Gravel	Cascalho (gravilhão)	10	12 - 18	12 - 18	3	I - Tipo de Impacto sobre a zona vadosa			
Sand	Areia	9	> 18	> 18	1	Faixa (Inglês)	Faixa (Português)	Classificação	Classificação típica
Peat	Turfa	8				Confining Layer	Camada de confinamento	1	1
Shnknmg and/or Aggregated Clay	Argila expansiva ou agregada	7	C - Conductivity (Hydraulic) of the Aquifer			Silt/Clay	Silte / argila	2 - 6	3
Sandy Loam	Marga arenosa	6	C - Condutividade do Aquífero			Shale	Xisto	2 - 5	3
Loam	Marga	5	Faixa (GPD/ft²)	Faixa (m/dia)	Classificação	Limestone	Calcário	2 - 7	6
Silty Loam	Marga siltosa	4	1 - 100	0,04 - 4,07	1	Sandstone	Arenito	4 - 8	6
Clay Loam	Marga argilosa	3	100 - 300	4,07 - 12,22	2	Bedded Limestone, Sandstone, Shale	Camadas de calcário, arenito, xisto	4 - 8	6
Muck	Solo orgânico	2	300 - 700	12,22 - 28,52	4	Sand and Gravel with significant Silt and Clay	Areia e cascalho com silte e argila significativos	4 - 8	6
Nonshrinking and Nonaggregated Clay	Argila não expansiva e agregada	1	700 - 1000	28,52 - 40,75	6	Metamorphic/Igneous	Metamórfica / Ígnea	2 - 8	4
			1000 - 2000	40,75 - 81,49	8	Sand and Gravel	Areia e Cascalho	6 - 9	8
			> 2000	> 81,49	10	Basalt	Basalto	2 - 10	9
						Karst Limestone	Calcário cárstico	8 - 10	10

Figura 1: Intervalo e valores das variáveis para o método DRASTIC.

Fonte: Adaptado de ALLER et al., 1987, p. 21-25.

MÉTODO DRASTIC (ALLER et al., 1987)

Parâmetros	DRASTIC (pesos)
Dw - Profundidade da água	5
Rw - Recarga (líquida)	4
Aw - Tipo de aquífero	3
Sw - Tipo de Solo	2
Tw - Topografia (declividade)	1
lw - Tipo de Impacto sobre a zona vadosa	5
Cw - Condutividade do Aquífero (hidráulica)	3

Figura 2: Intervalo e valores das variáveis para o método DRASTIC.

Fonte: Adaptado de ALLER et al., 1987, p. 21-25.

$$\text{ÍNDICE DRASTIC} = Dr.Dw + Rr.Rw + Ar.Aw + Sr.Sw + Tr.Tw + lr.lw + Cr.Cw \quad (\text{Eq. 1})$$

r = valores das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência.

w = pesos dos fatores DRASTIC.

Resultado entre **23 (mínima)** e **230 (máxima)**
Quanto mais elevado o índice maior a vulnerabilidade.

MÉTODO GOD (FOSTER; HIRATA, 1988)

- apresenta bom desempenho;
- menor custo;
- maior facilidade de obtenção das informações utilizadas por ele.
- amplamente difundido na América Latina e no Caribe durante a década de 1990, devido à sua simplicidade conceitual e de aplicação (FOSTER et al., 2006).

MÉTODO GOD (FOSTER; HIRATA, 1988)

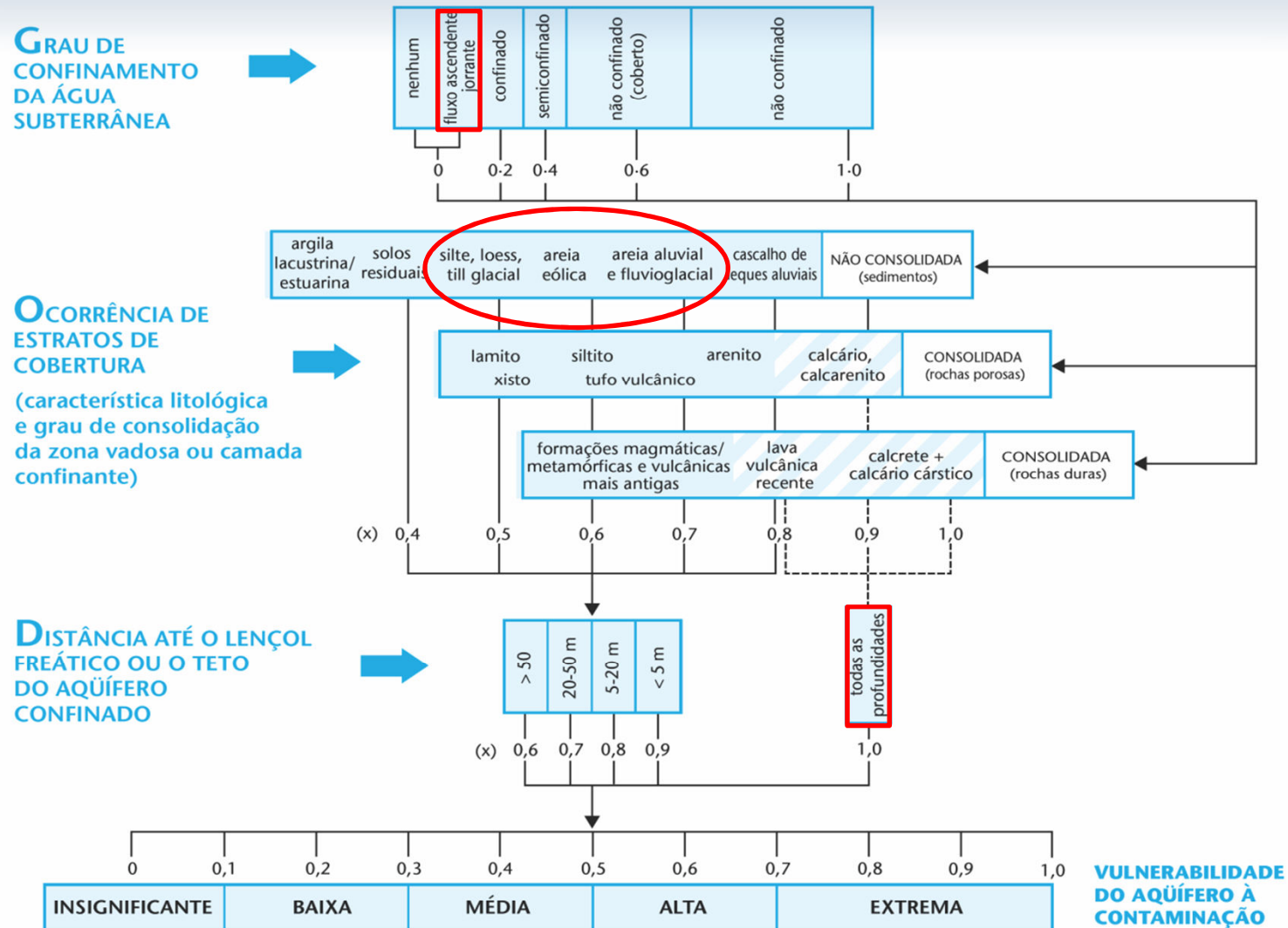


Figura 3: Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

Fonte: Foster et al., 2006, p. 23.

MÉTODO GOD (FOSTER; HIRATA, 1988)

$$\text{Índice GOD} = \text{G.O.D} \quad (\text{Eq. 2})$$

O índice **máximo = 1,0**

Valor **mínimo = 0,0**




vulnerabilidade extrema

vulnerabilidade insignificante

MÉTODO MAIA (MAIA; CRUZ, 2010)

MAIA (Método de Avaliação Intrínseca de Aquíferos)

- modelo análogo e paramétrico;
- Aplicação universal;
- utiliza expressão matemática  seleção de parâmetros indicadores de VULNERABILIDADE;
- cada termo da equação está direta ou inversamente relacionado com a vulnerabilidade;
- decomposição das variáveis dos métodos tradicionais.

MÉTODO MAIA (MAIA; CRUZ, 2010)

Parâmetros :

- profundidade da água (PA);
- espessura do solo (ES);
- declividade do terreno (DT);
- condutividade hidráulica (CH);
- capacidade específica (CE);
- transmissividade do aquífero (TA);
- recarga potencial (RE);
- Densidade de fraturas (DF).

MÉTODO MAIA (MAIA; CRUZ, 2010)

(— — —)

(Eq. 3)

(— — —)

(Eq. 4)

(— — —)

(Eq. 5)

Limites: **Baixa** ≤ 7,5; **7,5 < Média** ≤ 12,5; **12,5 < Alta** ≤ 17,5; **17,5 < Extrema** < 23,0.

“TriVulnerabilidade”

Produto indireto do projeto Hidrogeoquímica e Estudo da vulnerabilidade do aquífero Taquari/Maruim no município de Maruim – SE.



Suporte facilitador para o cálculo dos índices de vulnerabilidade intrínseca, a partir de três métodos específicos DRASTIC (Aller et al., 1985), GOD (Foster e Hirata, 1988) e MAIA (Maia e Cruz, 2011).



Uso de funções lógicas da planilha MS Excel 2010 (uso não comercial)

“TriVulnerabilidade”

Os dados gerados são facilmente utilizados como arquivos de *input* para *softwares* de análises geoestatísticas e para SIGs.



Analisar espacialmente os índices de vulnerabilidade calculados;

Possibilitar o cruzamento desses dados entre variáveis e parâmetros diversos, resultando na produção de mapas temáticos;

PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Levantamento dos dados geológicos e medição dos parâmetros necessários para a aplicação dos métodos de avaliação da vulnerabilidade.

Aplicação do Método DRASTIC

Levantar a espessura da zona não saturada, recarga, material do aquífero, tipo de solo, topografia, impacto da zona não saturada e condutividade hidráulica.

Aplicação do Método GOD

Levantar o tipo de aquífero, a litologia e o grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes e a profundidade da água no aquífero.

Aplicação do Método MAIA

Determinar a profundidade da água, espessura do solo, declividade do terreno, capacidade específica, recarga potencial, transmissividade do aquífero e/ou densidade de fraturas.

PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

RESULTADOS

Como resultado da análise dos dados processados, é possível:

- simplificar ou agregar informação;
- converter variáveis em um índice;
- realizar operações de sobreposição de vários níveis de informação;
- testar um índice em comparação a outros e produzir mapas de vulnerabilidade em softwares SIG, com a utilização dos dados finais;
- armazenar de forma organizada os dados;
- alterar os dados, caso haja alguma modificação no cenário estudado anteriormente, obtendo novos índices de vulnerabilidade para uma mesma área.

RESULTADOS

Ponto	Fase 1	Fase 2	Fase 3	DRASTIC		
	Grau de confinamento da	Ocorrência de estratos de	Distância da água subterrânea à			
	Legenda (Parâmetros)			A		
Código	Valores para fase 1	Valores para fase 2	Valores para fase 3			
PC1				ALTA		
PC2				ALTA		
PC5				ALTA		
PC6	1 AUSENCIA	Não consolidados (Sedimentos)	11 ARGILA LACUSTRINA/ ESTUARINA	ALTA		
PC7	2 CONFINADO ARTESIANO		12 SOLOS RESIDUAIS	ALTA		
PC8	3 CONFINADO		13 SILTE, LOESS, TILL GLACIAL	ALTA		
PC9	4 SEMICONFINADO		14 AREIA EÓLICA	ALTA		
PC10	5 NÃO CONFINADO (COBERTO)		15 AREIA ALUVIAL E FLUVIOGLACIAL	ALTA		
PC11	6 NÃO CONFINADO		16 CASCALHO DE LEQUES ALUVIAIS	ALTA		
PC12		Consolidados (rochas porosas)	21 LAMITO	ALTA		
PC13			22 XISTO	ALTA		
PC14			23 SILTITO	ALTA		
PC15			24 TUFO VULCÂNICO	ALTA		
PC16			25 ARENITO	ALTA		
PC17			26 CALCÁRIO	ALTA		
PC18		27 CALCARENITO	ALTA			
PC19		Consolidados (rochas compactas)	FORMAÇÕES MAGMÁTICAS	ALTA		
PC20			31 METAMÓRFICAS	ALTA		
PC21			VULCÂNICAS MAIS ANTIGAS	ALTA		
PC22			32 LAVA VULCÂNICA RECENTE	ALTA		
PC23			33 CALCRETE + CALCÁRIO CÁRSTICO	ALTA		
PC24				ALTA		
PC25				ALTA		
PC26				ALTA		
PC27				ALTA		
PC28				ALTA		
PC29	Povoado Borda da Mata	5, 0,6	26, 0,9	4, 1	0,54	ALTA

OBS.: Para os valores, das fases, numéricos a entrada é através do próprio valor, observando a UNIDADE DE MEDIDA.

Figura 4: Cálculo do índice de vulnerabilidade pelo método GOD através da planilha eletrônica "TriVulnerabilidade".

RESULTADOS

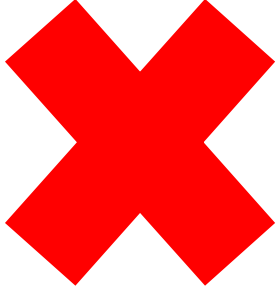
Legenda (Parâmetros)			
Valores para fase 1 (m)	Valores para fase 2 (mm)	Valores para fase 3	Valores para fase 4
		1 - 3 1 Xisto maciço	1 Fino ou ausente
		2 - 5 2 Metamórfica / Ígnea	2 Cascalho (gravilhão)
		3 - 5 3 Metamórfica / Ígnea intemperizados	3 Areia
		5 - 9 4 Till Glacial	4 Turfa
		Camadas de arenito , calcário e sequências de xisto	5 Argila expansiva ou agregada
		4 - 9 5 Arenito maciço	6 Marga arenosa
		4 - 9 6 Calcário maciço	7 Marga
		4 - 9 7 Areia e Cascalho	8 Marga siltosa
		2 - 10 8 Basalto	9 Marga argilosa
		9 - 10 9 Calcário cárstico	10 Solo orgânico
			11 Argila não expansiva e agregada
Pesos dos Parâmetros			
Dw	Rw	Aw	Sw
5	4	3	2

Figura 5: Legenda dos parâmetros pelo método DRASTIC através da planilha eletrônica “TriVulnerabilidade”.

RESULTADOS

Legenda (Parâmetros)			
Valores para fase 5 (%)	Valores para fase 6	Valores para fase 7 (m/dia)	
X	1	1 Camada de confinamento	X
	2 - 6	2 Silte / argila	
	2 - 5	3 Xisto	
	2 - 7	4 Calcário	
	4 - 8	5 Arenito	
	4 - 8	6 Camadas de calcário, arenito, xisto	
	4 - 8	7 Areia e cascalho com silte e argila	
	2 - 8	8 Metamórfica / Ígnea	
	6 - 9	9 Areia e Cascalho	
	2 - 10	10 Basalto	
	8 - 10	11 Calcário cárstico	
Pesos dos Parâmetros			
Tw	Iw	Cw	
1	5	3	

Figura 6: Legenda dos parâmetros pelo método DRASTIC através da planilha eletrônica “TriVulnerabilidade”. (Continuação)

RESULTADOS

Cordenadas		Ponto		Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6.1	Fase 6.2	Índice de Vulnerabilidade	
				Profundidade da água (m) (PA)	Espessura do solo (m) (ES)	Declividade do terreno (%) (DT)	Capacidade específica (CE) (m ² /h)	Recarga potencial (RE) (mm)	Transmissividade do Aquífero(TA)	Densidade de Fraturas (DF) (m/km ²)		
Lat.	Long.	Código	Nome	Índice	Índice	Índice	Índice	Índice	Índice	Índice		
14°28'41	41°32'13	3.044/85	Meleiro	1,00	3	1,00	1,541	1,010			4,88455	BAIXA
14°25'57	41°20'26	3.220/85	Faz.Fundão	2,80	2	18,50	2,415	8,519			11,8448	MÉDIA
14°22'30	41°17'28	2.352/84	Baixa Escura	2,00	1	5,40	1,710	8,519			11,9135	MÉDIA
14°32'51	41°26'06	4.469/88	Pimenta	14,42	2	1,30	9,020	4,018			14,3761	ALTA
14°23'20	41°18'29	4162/87	Faz. Pau Ferro	3,43	2	10,60	2,085	10,012			12,9822	ALTA
14°27'23	41°20'17	4157/87	Faz. Manoel Velho	4,84	1	2,10	1,450	10,012			13,1442	ALTA
14°18'09	41°19'25	4147/87	Faz. Duas Irmãs	2,31	1	2,50	2,366	8,519			12,7173	ALTA
14°09'14	41°23'06	3.139/85	Algodão	20,00	1	1,80	9,998	1,010			12,6136	ALTA
14°25'00	41°28'57	2.830/85	Sede III	1,32	2	3,90	1,218	2,705			5,43693	BAIXA
14°25'34	41°13'37	2.358/84	Pé de Serra	37,86	1	2,80	2,764	10,012			14,159	ALTA
14°24'19	41°27'30	4.482/88	Sede V	0,48	1	3,90	1,355	2,705			7,399	BAIXA
14°15'36	41°26'39	2-1712	Eixo Serra II - Lg Represa	4,92	2	0,33	1,792	2,514			8,03958	MÉDIA
14°22'19	41°33'55	1 5942	Passagem do Lagedo II	2,55	3	0,95	1,871	2,514			6,16281	BAIXA
14°12'43	41°32'02	2-1707	Patos	5,87	2	4,20	2,365	2,514			5,78795	BAIXA
14°26'45	41°13'20	1720	Zacarias	0,44	2	6,00	1,523	10,012			14,4746	ALTA
14°19'50	41°12'45	4154-87	Lagoa de Santana	2,49	1	2,10	2,116	10,012			14,0053	ALTA
14°16'17	41°20'46	2.355/84	Várzea da Pedra	0,71	1	8,10	1,031	5,522			9,08461	MÉDIA
14°16'31	41°25'16	2.243/84	Serra Negra	3,78	3	1,50	6,541	2,514			10,32	MÉDIA
14°16'27	41°23'06	2-1733	Caetano	1,00	2	13,40	1,000	4,018			6,59241	BAIXA
14°09'46	41°26'45	2 1728	Paris do Matias	4,00	2	1,90	1,312	1,010			3,59873	BAIXA
14°16'25	41°10'17	1-6491	Várzea da Pedra VI	0,72	5	1,00	1,264	5,522			9,37413	MÉDIA
14°16'26	41°10'16	5.113/92	Várzea da Pedra III	14,07	2	9,50	1,418	5,522			7,61546	MÉDIA

Figura 7: Cálculo do índice de vulnerabilidade pelo método MAIA através da planilha eletrônica “TriVulnerabilidade”, no município de Aracatu, Bahia.

Fonte de dados: MAIA, 2011, p.72

CONCLUSÕES

Com base no cruzamento de informações pré-existentes com as informações resultantes da planilha, pode-se observar que num cenário básico de variáveis inseridas, levando em consideração a representatividade, houve um aproveitamento e desempenho ótimos ao calcular os índices de vulnerabilidade.

A planilha eletrônica “Trivulnerabilidade” é uma ferramenta computacional como elemento facilitador no Estudo da Vulnerabilidade Intrínseca de Aquíferos, para os métodos selecionados.

REFERÊNCIAS

ALBINET, M ; MARGAT, J. Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau soterraine. **Bulletin BRGM**. 2nd Series, v. 3, n. 4, p. 13-22, 1970.

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J. **DRASTIC**: a standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrological settings. Ada, USA: National Water Well Association, 1987.

FOSTER, S. S. D.;HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, 1988.

FOSTER, S. S. D. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: SERVIMAR, 2006.

MAIA, P. H. P. **Um novo método para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos**. 2011. 132 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2011.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. In: X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa – XVI Semana de Geoquímica. 2010. **Anais do X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa – XVI Semana de Geoquímica**. Portugal, 2010.

RUSSO, A. S. **Estimativa da vulnerabilidade de aquíferos utilizando sistemas de informações geográficas e geoestatística – UGRHI – PCJ**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009, 75p.

CONTATO

josana@josanamello.com.br

OBRIGADA!!!

