

## **Análise de vulnerabilidade à contaminação de aquífero no Distrito Industrial de Cuiabá – MT, através do método GOD.**

Lorena Moreira Nicochelli <sup>1</sup>,  
Auberto José Barros Siqueira <sup>2</sup>  
Renato Blat Migliorini<sup>2</sup>  
Kurt João Albrecht<sup>2</sup>  
Anderson Rodrigues Delguingaro <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Federal de Mato Grosso – graduanda em Engenharia Sanitária Ambiental  
Av. Fernando Corrêa, s/ n° - CEP 78060-900 – Cuiabá – MT, Brasil  
[lmnicochelli@hotmail.com](mailto:lmnicochelli@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade de Federal de Mato Grosso – Departamento de Geologia  
Av. Fernando Corrêa, s/ n° - CEP 78060-900 – Cuiabá – MT, Brasil

<sup>3</sup> Universidade de Federal de Mato Grosso – graduando em Geologia  
Av. Fernando Corrêa, s/ n° - CEP 78060-900 – Cuiabá – MT, Brasil

**Abstract.** This paper presents the preliminary vulnerability indexes of the Cuiabá Industrial District (CIB), aquifer, which is located in the urban area of this city. In the CIB, the groundwater is an important source of water supply for several industrial activities. In this research, we adopted the GOD method for the vulnerability assessment of the aquifer in terms of pollution generated by the industrial and others activities inside the CIB. GOD methodology consists of the following three parameters: G, mode of groundwater occurrence; O, overlaying lithology; and D, depth of the water table. The study appointed the existence of two classes of vulnerability, varying from low to moderate. The result of this study is a map of vulnerability of the CIB aquifer.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, geology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia.

### **1. Introdução**

O Distrito Industrial de Cuiabá (DIC), com cerca de 1000 ha de área atualmente ocupada, situa-se na parte sul da área urbana da cidade de Cuiabá (Figura 1). Em conjunto com a vizinha Várzea Grande, a capital de Mato Grosso constitui o principal aglomerado urbano do estado, com aproximadamente 760.000 habitantes, sendo 524.000 habitantes na capital e 242.000 em Várzea Grande (SEPLAN, 2005). No total 176 indústrias de diversos segmentos, borracha, alimentos, beneficiadoras de grãos, armazéns, tintas, indústria de vestuário, reciclagem e minério estão em funcionamento no local atualmente. Somente de 2003 a 2007 foram implantadas 61 indústrias no DIC, 30% a mais do total existente em 2002. Para os próximos anos, já há a previsão de 39 novas indústrias se instalarem na região. Ao todo, 4.400 pessoas foram empregadas diretamente, desde a criação do DIC, em 1978, e ainda há um número de 13.200, empregos indiretos criados para atender ao funcionamento destas indústrias (SICME, 2008).

Os poços da área do DIC foram escolhidos para este estudo, pois, devido a essa grande e crescente diversidade de atividades industriais, pode haver risco à contaminação se os efluentes e resíduos produzidos durante os processos produtivos não tiverem tratamento e destinação final adequados. Por outro lado, trata-se de uma área de especial interesse ambiental por estar situada na transição entre as províncias geomorfológicas da Baixada Cuiabana, com o Pantanal de Mato Grosso.

O objetivo deste trabalho é quantificar a vulnerabilidade, utilizando-se dados obtidos durante a construção dos poços, integrados e analisados através de Sistema de Informações

Geográficas (SIG) classificando os poços em diferentes níveis de vulnerabilidade de acordo com parâmetros determinados pela metodologia GOD proposta por Foster e Hirata (1989).

Os resultados desta avaliação pode orientar a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA) a planejar ações especiais aos poços mais vulneráveis, bem como estender a análise para os demais poços.

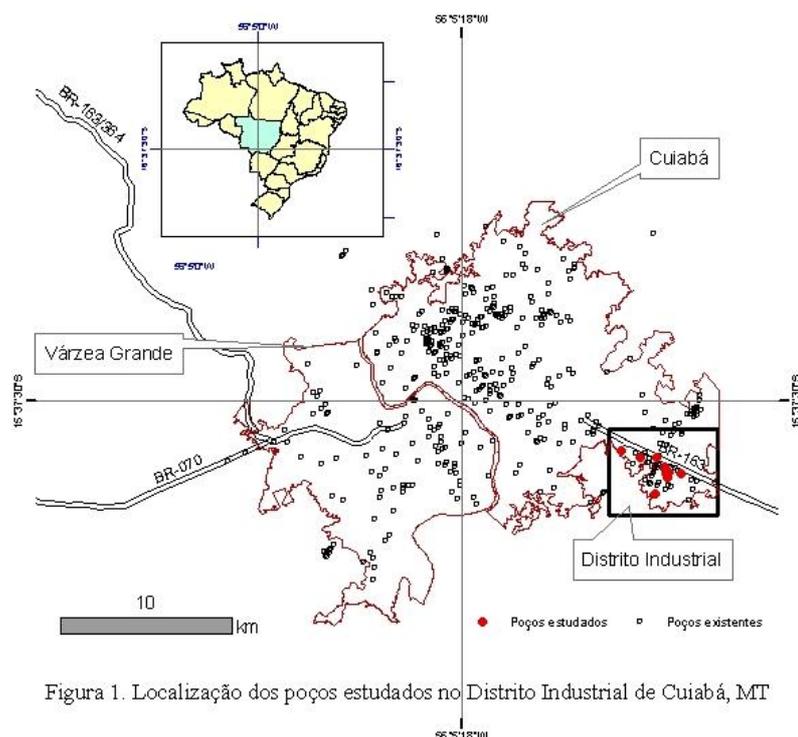


Figura 1. Localização dos poços estudados no Distrito Industrial de Cuiabá, MT

## 2. Área de Estudo

O clima na região de Cuiabá é tropical semi-úmido, com estações bem definidas, alternando períodos secos e chuvosos. As temperaturas oscilam entre 10°C e 42°C conforme a época do ano, com média de 26°C. A precipitação média anual é de cerca de 1350 mm. O principal rio da região é o rio Cuiabá, que faz divisa entre as cidades de Cuiabá e Várzea Grande. Os cursos d'água que drenam o DIC são o Córrego Caité e o Ribeirão dos Cágados, ambos afluentes do rio Aricá-Açu, um importante afluente da margem esquerda do Rio Cuiabá. Conforme pode ser visto na Figura 2, esse sistema de drenagem conecta-se a áreas úmidas / massas de água (baías), características da planície pantaneira.

O DIC encontra-se inserido em uma zona de cerrados, que variam em densidade desde campos cerrados, em formações mais abertas, a cerrados densos (“Cerradão”), em formações mais fechadas. Essa variação fisionômica relaciona-se fortemente com mudanças de solo e relevo, de forma que as primeiras tendem a ocorrer em zonas mais baixas, suscetíveis a encharcamentos, enquanto que as formações mais densas são preferencialmente encontradas em áreas mais altas, com solos mais profundos. Como o DIC localiza-se no limite da área urbana, observa-se em campo que a área limítrofe é usada basicamente pela pecuária extensiva, em pastagens nativas/ plantadas.

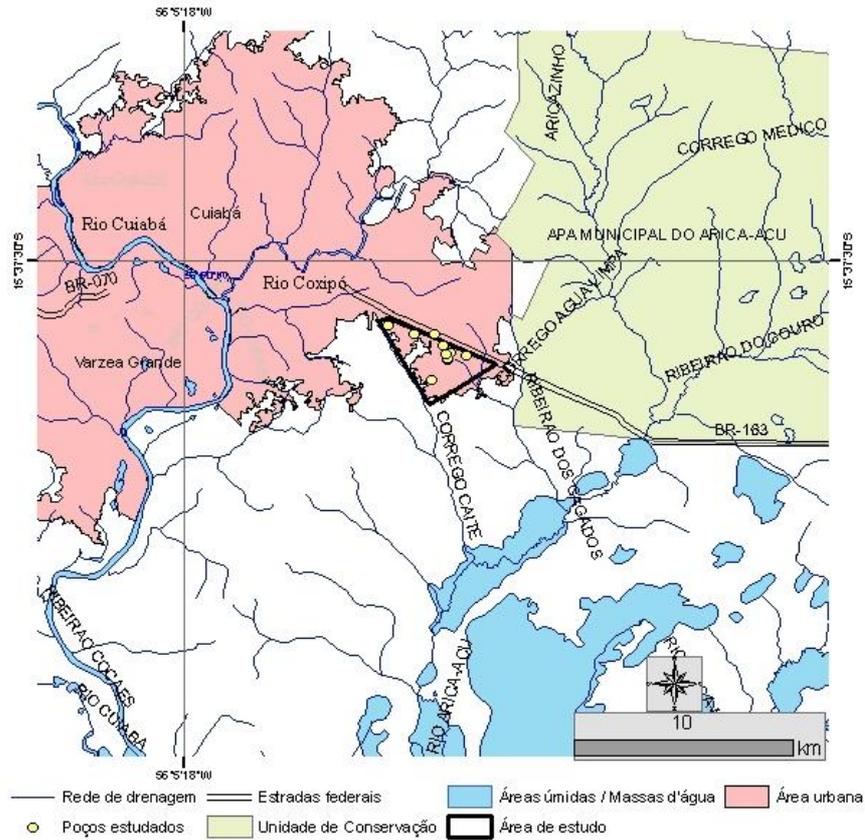


Figura 2 – Situação hidrográfica do Distrito Industrial de Cuiabá

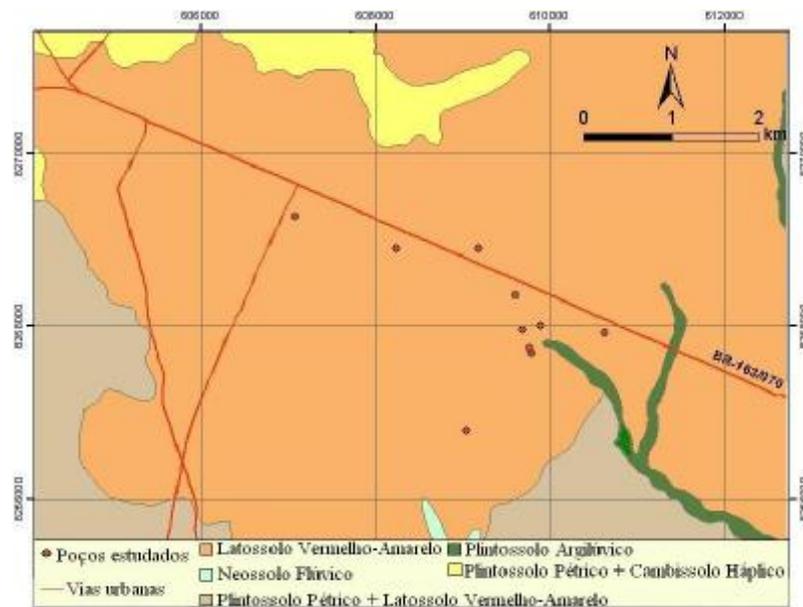


Figura 3 – Mapa de classes de solos do DIC

Geomorfologicamente, na área do DIC encontra-se um relevo plano a levemente ondulado, formando-se colinas com vertentes com rampas amplas e suaves. Nas rampas e topos dessas colinas baixas, ocorrem o Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média ou argilosa no qual estão os poços estudados neste trabalho. Nas partes baixas ocorrem neossolos tropicais, e plintossolos, mormente nas áreas sujeitas a enchanchamentos (Figura 3, Migliorini, 1999).

De um modo geral, o aquífero do Grupo Cuiabá, principal unidade geológica onde se insere a área estudada, é do tipo fraturado com características de heterogeneidade litológica e anisotropia estrutural. Tais propriedades dificultam a pesquisa de água subterrânea, e propiciam grande variação na produção de água nos poços perfurados. Isso se deve à variação na distribuição, intensidade e interligação das fraturas na matriz rochosa.

Mapeamento geológico realizado por Migliorini (1999) mostra que o Grupo Cuiabá na região do DIC é composto basicamente por espessos pacotes de metadiamicritos que variam quanto à composição da matriz em argilo-siltosa micácea, em parte feldspática, ou matriz arenosa, com grãos variando entre grosso a médio, de composição quartzosa, denominados de Formação Miguel Sutil e Formação Rio Coxipó, respectivamente (Figura 4). A Formação Pantanal, constituída por sedimentos arenosos finos a siltico- argilosos, de cor cinza claro a amarelado, semiconsolidados a inconsolidados, eventualmente com presença de cascalho, ocorre nas suaves depressões do terreno, associadas à rede de drenagem.

Na área estudada o aquífero localiza-se preferencialmente na interface entre no manto de alteração dos metadiamicritos fraturados com a cobertura de sedimentos inconsolidados da Formação Pantanal. Observa-se que no DIC os poços foram perfurados nos metadiamicritos de matriz arenosa (Formação Coxipó), os quais tendem a apresentar maior porosidade do que os argilosos, justificando-se assim, o maior potencial de águas subterrâneas encontrado no distrito (Figura 4).

### **3. Metodologia de Trabalho**

#### **Base de dados**

Uma base de dados com 404 poços tubulares profundos envolvendo a área do aglomerado urbano Cuiabá – Várzea Grande, elaborada por Carvalho (2002) foi disponibilizada a este projeto. De acordo com essa base, 26 poços encontravam-se cadastrados dentro do DIC. Todavia, esses poços, embora indiquem o potencial hidrológico e a forte demanda por água subterrânea do distrito, não puderam ser utilizados pelo método de análise de vulnerabilidade aqui empregado. A razão principal é que a data do ensaio para definição da profundidade do nível estático não havia sido registrada. Por causa dessa deficiência os poços não podem ser analisados em função das estações climáticas na qual os ensaios foram realizados. Na região do DIC, a profundidade do nível estático varia fortemente com a variação de estações chuvosas e secas. Como este é um parâmetro crítico na definição dos níveis de vulnerabilidade de acordo com a metodologia utilizada (GOD), é necessário que a análise proceda em poços com ensaio em épocas semelhantes em termos de pluviosidade. Como isso não foi possível, buscou-se a base de dados de poços licenciados no DIC pela Secretaria de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA). Dessa base foram selecionados 10 poços cuja data dos ensaios era conhecida, realizados entre novembro em fevereiro, na época de chuva.

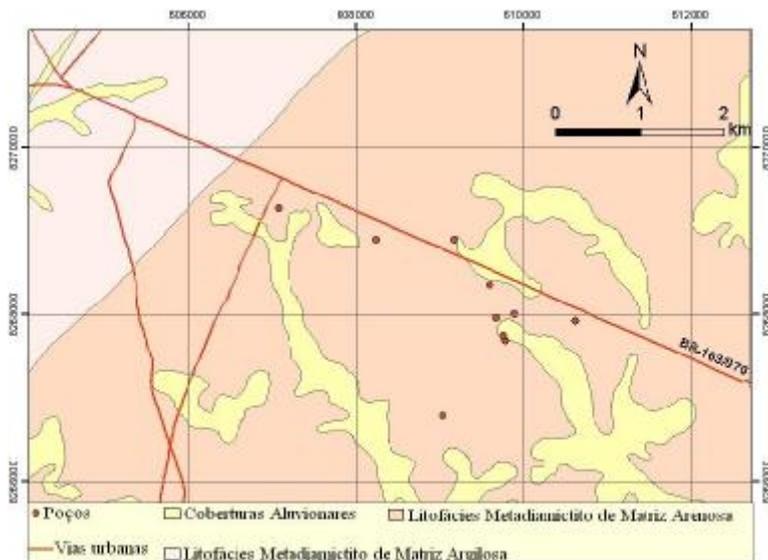


Figura 4 – Mapa litológico do Distrito Industrial de Cuiabá

### Análise de vulnerabilidade pelo método GOD

O método GOD foi proposto por Foster e Hirata (1989), e se baseia na análise de três parâmetros representados por G (*Groundwater hydraulic confinement*) que é o grau de confinamento do aquífero, O (*Overlaying strata*) tipo de litologia encontrada na zona não saturada, e D (*Depth to groundwater table*) corresponde à profundidade do nível d'água.

O parâmetro G varia de 0 a 1 e classifica o aquífero conforme a pressão da água. A maior vulnerabilidade se refere aos aquíferos livres, adotando-se o valor máximo.

O segundo parâmetro, representado por O varia de 0,4 a 1, e refere ao tipo litológico, envolve porosidade e permeabilidade, assim como a capacidade de atenuação da carga contaminante pelas camadas acima da zona saturada.

Por último, o parâmetro D possui valores entre 0,6 e 1, que são atribuídos à profundidade do nível estático. Evidentemente, níveis mais próximos à superfície do terreno são mais vulneráveis ao processo de contaminação.

Os três parâmetros são classificados em índices cuja variação dos valores demonstrará a condição de risco a que o aquífero está submetido. Os valores mais próximos de 1 apresentam condições de maior risco potencial. Para obtenção do índice de vulnerabilidade, os valores de classificação dos três parâmetros serão multiplicados resultando em um valor correspondente às classes de vulnerabilidade.

### Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Foi utilizada a tecnologia ARCGIS da ESRI, juntamente com os aplicativos ARCMAP, através do qual foi elaborado um projeto com mapas temáticos georeferenciados (solo, uso e ocupação do solo, litologia, hidrografia e infra-estrutura urbana). Tais dados foram obtidos a partir dos trabalhos de Migliorini (1999) bem como dados planialtimétricos digitais disponibilizados pela Secretaria de Planejamento e Coordenação de Mato Grosso, correspondente ao Zoneamento Socioeconômico – ecológico de Mato Grosso.

Os dados coletados na SEMA foram sintetizados em uma planilha EXCEL (Tabela 1). De acordo com a metodologia GOD, nessa planilha foram calculados os valores de vulnerabilidade. Posteriormente essa planilha foi adicionada como uma tabela no projeto SIG, através do aplicativo ARCMAP. Neste aplicativo os dados foram transformados em arquivos

SHAPE (pontos), cuja tabela de atributos temáticos apresenta estrutura idêntica àquela da Tabela 1. Utilizando-se a extensão *SpatialAnalyst* foi realizada uma interpolação do valores de vulnerabilidade dos poços para área do DIC. Essa operação permitiu obter mapas em formato matricial onde os pixels indicam os valores de vulnerabilidade interpolados para todo o espaço amostral (área do DIC). Para realização dessa interpolação utilizou-se a função *Inverse Distance Weighted- IDW*, disponibilizada pelo *SpatialAnalyst*.

Tabela 1 – Aplicação da metodologia GOD

Poços	Coordenadas Geográficas		Tipo de Aquífero	Litologia	Nível Estático (m)	G	O	D	Índice de Vulnerabilidade
	X	Y							
1	-15,666	-55,975	Não confinado	Solo residual (diamictito alterado), com textura siltosa	36,73	1	0,45	0,6	0,27
2	-15,655	-55,990	Não confinado	Areias Aluviais	17,5	1	0,7	0,7	0,49
3	-15,663	-55,974	Não confinado	Solo residual (filito alterado), com textura siltosa	17,66	1	0,45	0,7	0,315
4	-15,674	-55,982	Não confinado	Silte – argila de origem aluvial	15	1	0,5	0,7	0,35
5	-15,655	-55,981	Não confinado	Silte – argila de origem aluvial	8,2	1	0,5	0,8	0,4
6	-15,664	-55,967	Não confinado	Silte – argila de origem aluvial	9,5	1	0,5	0,8	0,4
7	-15,652	-56,000	Não confinado	Silte – argila de origem aluvial	8	1	0,5	0,8	0,4
8	-15,666	-55,975	Não confinado	Solo residual (diamictito alterado), com textura siltosa	43,5	1	0,45	0,6	0,27
9	-15,660	-55,977	Não confinado	Solo residual (diamictito alterado), com textura siltosa	36,73	1	0,45	0,6	0,27
10	-15,664	-55,976	Não confinado	Solo residual (diamictito alterado), com textura siltosa	20	1	0,45	0,7	0,315

#### 4. Resultados e discussões

Na região estudada é predominante a ocorrência de aquíferos não confinados, condicionando maior vulnerabilidade à contaminação. Em virtude disso, o parâmetro que representa o grau de confinamento estabelece o valor 1.

Com relação às notas dadas às propriedades litológicas, salientando-se que, de acordo com a metodologia GOD, estas se referem à zona vadosa, ou seja, são consideradas as tipologias e texturas das rochas/solos que estão acima do nível freático em cada poço. Na área do Distrito Industrial, observa-se a predominância de texturas siltosas na maioria dos poços analisados, enquadrando os valores entre 0,45 e 0,5. Apenas o poço número 2 recebeu nota maior, devido à maior porcentagem de areia na sua constituição litológica, apresentando maior porosidade. Esta condição permite uma maior facilidade nos processos de infiltração, o que pode justificar o maior valor de vulnerabilidade, bastante próximo ao intervalo que corresponde à alta vulnerabilidade.

Importante ressaltar que as rochas que apresentam mais poros são condicionadas a menores valores devido ao alto poder de retenção de contaminantes, já rochas mais densas,

em que a porosidade e permeabilidade ocorrem essencialmente por fraturas, têm menor capacidade de filtração e são classificadas como mais vulneráveis.

Os aquíferos em Cuiabá são porosos no manto de alteração, entretanto a maiores profundidades a matriz rochosa apresenta quantidade relativamente pequena de espaços intergranulares ou mesmo até a inexistência destes, armazenando a água subterrânea em fraturas. Isto ocorre porque na região estudada há predomínio de rochas metamórficas. Neste caso, a recarga de água e a infiltração de contaminantes dependerá da intensidade, distribuição e interligação das fraturas no meio rochoso.

O nível estático dos poços apresentou valores variando entre 8 e aproximadamente 44 metros (figura 5). Poços com níveis mais próximos à superfície do terreno apresentam maior vulnerabilidade, e conseqüentemente recebem valores mais altos conforme a metodologia adotada. Os índices de vulnerabilidade encontrados foram influenciados essencialmente pela variação do nível estático dos poços, já que o tipo de aquífero abrangendo toda a região é do tipo não confinado e a litologia dos poços não difere em grande escala. Em virtude disso, os valores da classificação apresentam uma única tendência, não apresentando grandes variações.

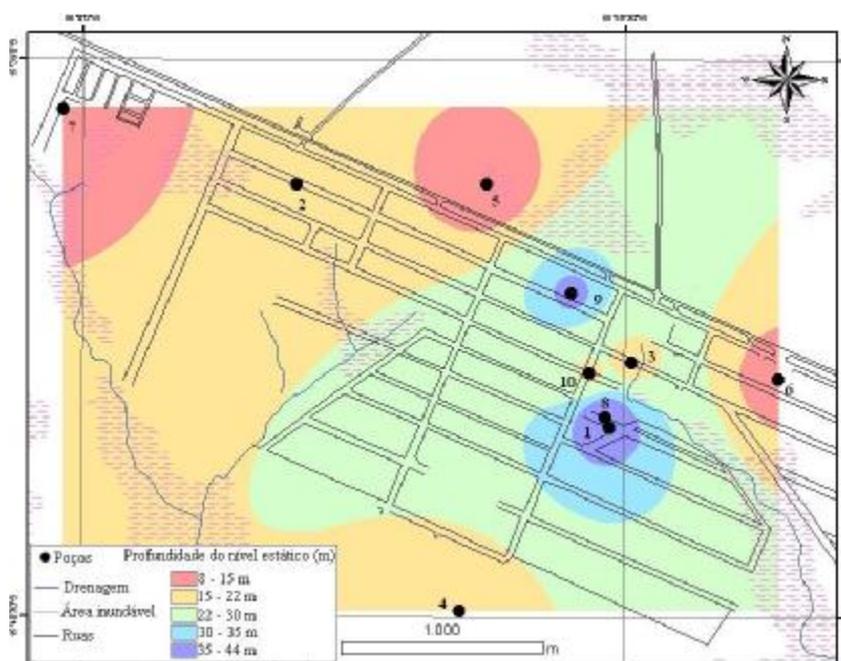


Figura 5 – Profundidade do nível estático na área do DIC

A figura abaixo apresenta o mapeamento dos índices de vulnerabilidade apresentados na tabela acima. Um índice de 70% dos poços apresentou moderada vulnerabilidade. Os três poços restantes apresentaram baixos índices, principalmente influenciados pela altura do nível estático dos poços, superior a 36 metros.

O mapa de vulnerabilidade apresenta as duas classes de vulnerabilidade. A baixa vulnerabilidade é representada pela cor amarela mais clara e corresponde aos poços 1, 8 e 9.

A fim de melhorar o aspecto visual do mapa, o intervalo de valores 0,31 a 0,5, correspondente à moderada vulnerabilidade, foi subdividido em intervalos menores, representados por diferentes tonalidades. Os intervalos foram determinados conforme os valores adquiridos de vulnerabilidade (coluna j). Importante esclarecer que a diversificação nos tons apenas evidencia que há variação nos valores dentre os 7 poços em uma mesma classificação. Ou seja, os poços 2, 3, 4, 5, 6, 7, e 10, são classificados em moderados, conforme intervalo proposto por metodologia.

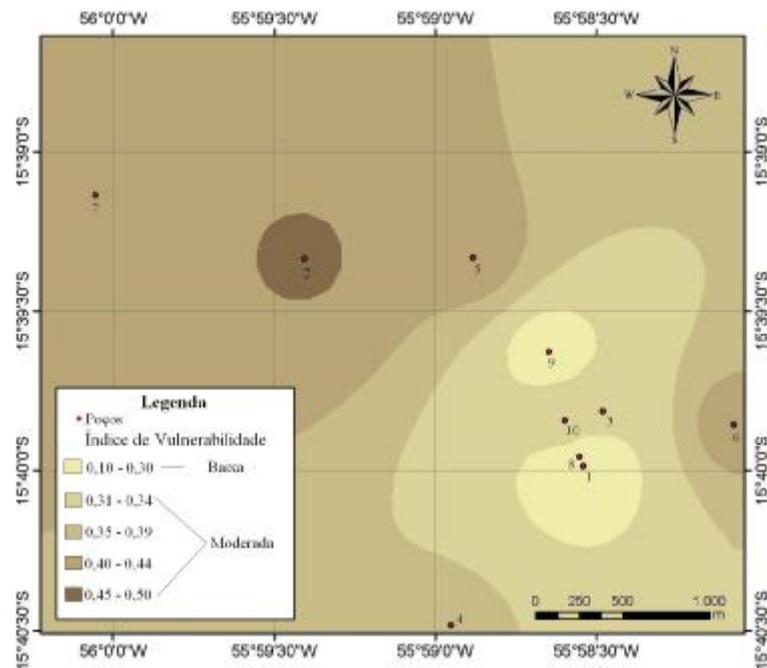


Figura 6 – Mapa de vulnerabilidade da região do DIC.

## 5. Conclusão

A atribuição de índices menores para classificação da vulnerabilidade não deverá se configurar em uma isenção de responsabilidades ambientais sobre esta área, pois os processos de contaminação são resultados de uma interação de diversos fatores, como as características físicas, químicas e microbiológicas, fontes de origem da carga, entre outros fatores para definição do seu potencial de contaminação..

Este estudo mostrou-se uma ferramenta de grande importância nos processos de licenciamento de áreas para implantação de atividades com potencial de contaminação, auxiliando no planejamento de uso e ocupação dos solos, a fim de prever o correto uso dos recursos ambientais.

## 6. Referencias Bibliográficas

SEPLAN. **Informativo socioeconômico de Mato Grosso 2005**. Cuiabá: Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral de Mato Grosso. 2005. 106p Disponível em:

<[http://www.seplan.mt.gov.br/arquivos/A\\_f7d8a74ea3c43ffb50c8eae68f6f985dInformativo%20Socioeconomico.pdf](http://www.seplan.mt.gov.br/arquivos/A_f7d8a74ea3c43ffb50c8eae68f6f985dInformativo%20Socioeconomico.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2008.

SICME. Especial- De cara nova, Distrito Industrial de Cuiabá atrai novos investimentos.Secretaria de Indústria,Comércio, Mineração e Energia de Mato Grosso. 2008. Disponível em: <[http://www.sicme.mt.gov.br/html/detalhe\\_noticia.php?mat=630](http://www.sicme.mt.gov.br/html/detalhe_noticia.php?mat=630)> . Acesso em: 17 set. 2008.

Foster, S. D.; Hirata, R.; Gomes, D.; D' Elia, M e Paris, M.. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales**. Groundwater Management Advisory Teeam (GW MATE), WHO-PAHO-CEPIS e UNESCO-ROSTLAC-PHI. Banco Mundial, Washinton, D.C. 2002.115p.

Migliorini, R. B. **Hidrogeologia em Meio Urbano. Região de Cuiabá e Várzea Grande - MT**. 1999. 145p. Dissertação (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

CARVALHO, M. A. de. 2002. Implicações e riscos ambientais decorrentes da qualidade construtiva de poços tubulares profundos na área urbana de Cuiabá. (Dissertação de Mestrado COPPE/UFRJ e UFMT/FAET/DESA). Rio de Janeiro, 165 p.