

# CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO LIVRE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ CUMARU, IGARAPÉ-AÇU-PA.

Homero Reis de Melo Junior<sup>1</sup>; Albertus Johannes Wickel<sup>2</sup> & Tatiana Deane de Abreu Sá<sup>3</sup>

**RESUMO** - O projeto Shift (Studies of Human Impact on Forest and Floodplains in the Tropics)-Capoeira, inclui estudos nas propriedades de pequenos produtores rurais, na região nordeste do Estado do Pará, na zona rural do município de Igarapé-Açu, com o objetivo de avaliar a função da vegetação secundária conhecida por “capoeira” como parte integrante do sistema tradicional de agricultura denominado *slash and burn* (corte e queima).

No entanto, se fez necessário um estudo detalhado do fluxo dos nutrientes dentro do ciclo hidrológico, para averiguar a redução de sua perda através da modificação do sistema *slash and burn* (corte e queima) pelo método *slash and mulch* (corte e trituração) da vegetação; a partir de então foi desenvolvido o estudo a nível de microbacia hidrográfica, a fim de compreender todo esse processo.

Através do presente trabalho foram identificadas as principais características hidrogeológicas locais, sendo o aquífero do tipo livre a livre com cobertura, constituído por sedimentos predominantemente arenosos classificados como Sedimentos Pós-Barreiras, cuja condutividade da zona não saturada encontra-se entre 0,00021 a 0,00027 cm/seg ou 18 a 23 cm/dia, respectivamente. A vulnerabilidade identificada para o aquífero livre é predominantemente moderada a alta, com áreas restritas cujos valores são baixos.

---

<sup>1</sup> MSc em Hidrogeologia – Pesquisador do Projeto SHIFT Embrapa Amazonia Oriental.

<sup>2</sup> Doutorando da Universidade de Bonn – ZEF - Pesquisador do Projeto SHIFT Embrapa Amazonia Oriental.

<sup>3</sup> Dra. em Hidrometeorologia – Coordenadora do Projeto SHIFT Embrapa Amazonia Oriental.

**ABSTRACT** - The Shift (Studies of Human Impact on Forest and Floodplains in the Tropics)-Capoeira Project comprise studies at small holders properties in the town of Igarapé-Açu, Estate of Pará, Eastern Amazon. The aim of the project is to evaluate the secondary vegetation (capoeira) as integrant part of the traditional system of agriculture known as slash and burn.

Became necessary to know and understand the nutrient fluxes inside the hydrologic cycle, to observe the nutrients loss through the modification of the slash and burn system by the slash and mulch system; so, was developed a sub-project at watershed scale to understand all this process.

This paper presents the first results with hydrogeologic characterization and vulnerability indexes. The aquifer type is unconfined and unconfined with some cover locally, constituted mainly by sandy sediments classified as Pós-Barreiras Sediments. The hydraulic conductivity on the vadose zone reaches from 0,00021 until 0,00027 cm/sec or 18 until 23 cm/day, respectively. The final vulnerability indexes identified for the unconfined aquifer were predominantly moderated to high, with some little and restrict areas with low values of vulnerability.

**Palavras-chave:** hidrogeologia, bacia hidrográfica, vulnerabilidade

## INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido dentro do projeto Shift (Studies of Human Impact on Forest and Floodplains in the Tropics)-Capoeira, o qual inclui estudos realizados nas propriedades de pequenos produtores rurais, na região nordeste do Estado do Pará, na zona rural do município de Igarapé-Açu (Figura 1), com o intuito de avaliar a função da vegetação secundária conhecida por “capoeira” como parte integrante do sistema tradicional de agricultura denominado *slash and burn* (corte e queima). A capoeira, possui um importante papel como vegetação de pousio na manutenção da produtividade desse tradicional sistema agrícola praticado na Amazônia. No entanto, o aumento demográfico e diversas mudanças nas práticas agrícolas tem reduzido o papel funcional do pousio na manutenção da produtividade desse sistema, resultando em um constante declínio, gerando a necessidade do uso de insumos. Dessa forma, o Projeto Shift-Capoeira ao longo dos seus dez anos de atuação na região de Igarapé-Açu, visa apresentar uma alternativa à forma de produção agrícola aplicada pelos pequenos produtores rurais.

Assim sendo, um dos principais objetivos do projeto é delinear modificações no sistema de produção do pequeno agricultor, a fim de manter sua capacidade produtiva. As principais modificações incluem a redução da perda de nutrientes e da matéria orgânica pela substituição do sistema *slash and burn* (corte e queima) pelo método *slash and mulch* (corte e trituração) da vegetação de pousio através da utilização de um trator, propiciando assim uma maior oferta da fitomassa nos períodos de pousio, além de enriquecer a capoeira com leguminosas arbóreas de

rápido crescimento. No entanto, se fez necessário um estudo detalhado do fluxo dos nutrientes dentro do ciclo hidrológico, para averiguar a redução de sua perda através da modificação do sistema agrícola; a partir de quando foi desenvolvido o estudo a nível de microbacia hidrográfica (Figura 2), a fim de compreender todo o processo.



Figura 1- Localização da área de estudo (Wickel *et al.* 2002).

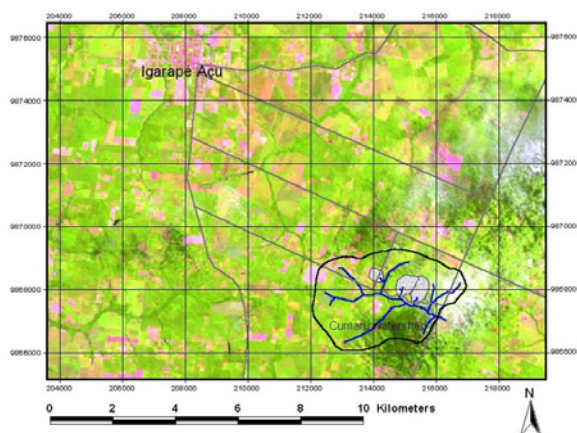


Figura 2- Localização da microbacia do Igarapé Açu e três sub-bacias associadas (Wickel *et al.* 2002).

Através do presente trabalho foram determinadas as principais características hidrogeológicas locais, como tipo de aquífero, sedimentos constituintes da zona não saturada, condutividade hidráulica; além de determinar-se a vulnerabilidade natural do aquífero livre na bacia hidrográfica do Igarapé Açu através do método GOD (Foster & Hirata 1993); para tanto foram instalados cerca de 50 piezômetros distribuídos ao longo da área, além de três barragens do tipo V-notch com sensores de pressão de água, uma estação meteorológica automática, uma estação hidrológica com amostrador automático de água das drenagens, modelo ISCO com capacidade para medir o nível, a descarga, o pH, a condutividade elétrica e a temperatura da água; a fim de dar continuidade ao estudo de fluxo de nutrientes. A distribuição dos aparelhos encontra-se na figura 3. Como ferramentas foram utilizados os *softwares* Surfer 6.0 para montar o banco de dados locais e Arcview para georreferenciar em imagem de satélite os dados gerados.

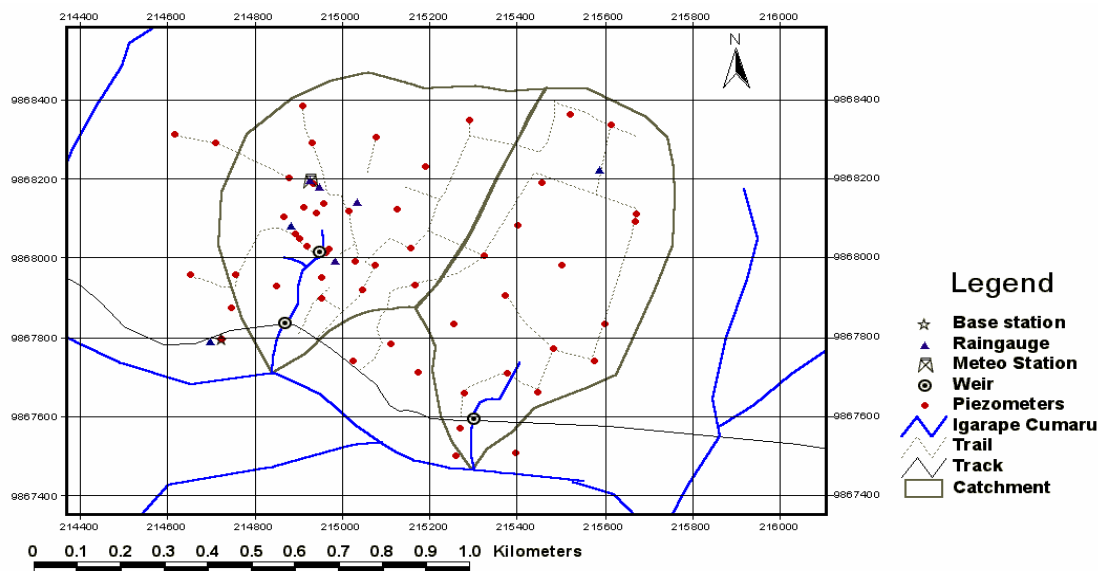


Figura 3- Distribuição espacial dos instrumentos na área da microbacia do igarapé Cumaru (Wickel *et al.* 2002).

## METODOLOGIA

Para construir os poços de monitoramento da área estudada, assim como para coletar material para análise granulométrica foram realizados cerca de 50 furos a trado manual, através quais obteve-se a maior parte dos dados da geologia de subsuperfície.

Para obter os valores da condutividade hidráulica na zona não saturada, foi utilizado o teste de infiltração denominado rebaixamento (ABGE 1996), no entanto, foram realizadas algumas modificações de acordo com a conveniência de aplicação do teste.

A condutividade hidráulica foi obtida então através da fórmula:

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times \frac{d_1^2}{8h_0 \sqrt{d_0 L}}$$

Sendo:

$\Delta t$  = tempo de duração do ensaio;

$\Delta h$  = Variação do nível d'água durante o ensaio;

$d$  = diâmetro da perfuração;

$L$  = comprimento do intervalo testado ( $1 \geq L \leq 3$  m)

$h_0$  = distância do início do ensaio até a metade de  $L$

As coordenadas geográficas e as cotas topográficas para mapear o uso do solo assim como para cadastrar os piezômetros foram obtidas através de GPS diferencial.

O mapeamento da vulnerabilidade natural do aquífero livre foi realizado através do modelo GOD desenvolvido por Foster & Hirata (1993), onde cada letra representa um parâmetro a ser avaliado; sendo "G" (*Groundwater occurrence*) o tipo de ocorrência da água subterrânea; "O"

(*Overall litology of aquiperm*) o litotipo da zona não saturada e "D" (*depth of water*) a profundidade do nível estático. Esses três parâmetros são multiplicados entre si, gerando o índice final de vulnerabilidade para o aquífero (Figura 4).

Foi produzido ainda o mapa de potencial hidráulico a partir das cotas topográficas obtidas com o GPS diferencial e do nível estático observado nos piezômetros, cujo sentido do fluxo subterrâneo foi inferido manualmente a partir das linhas de maior para menor potencial hidráulico.

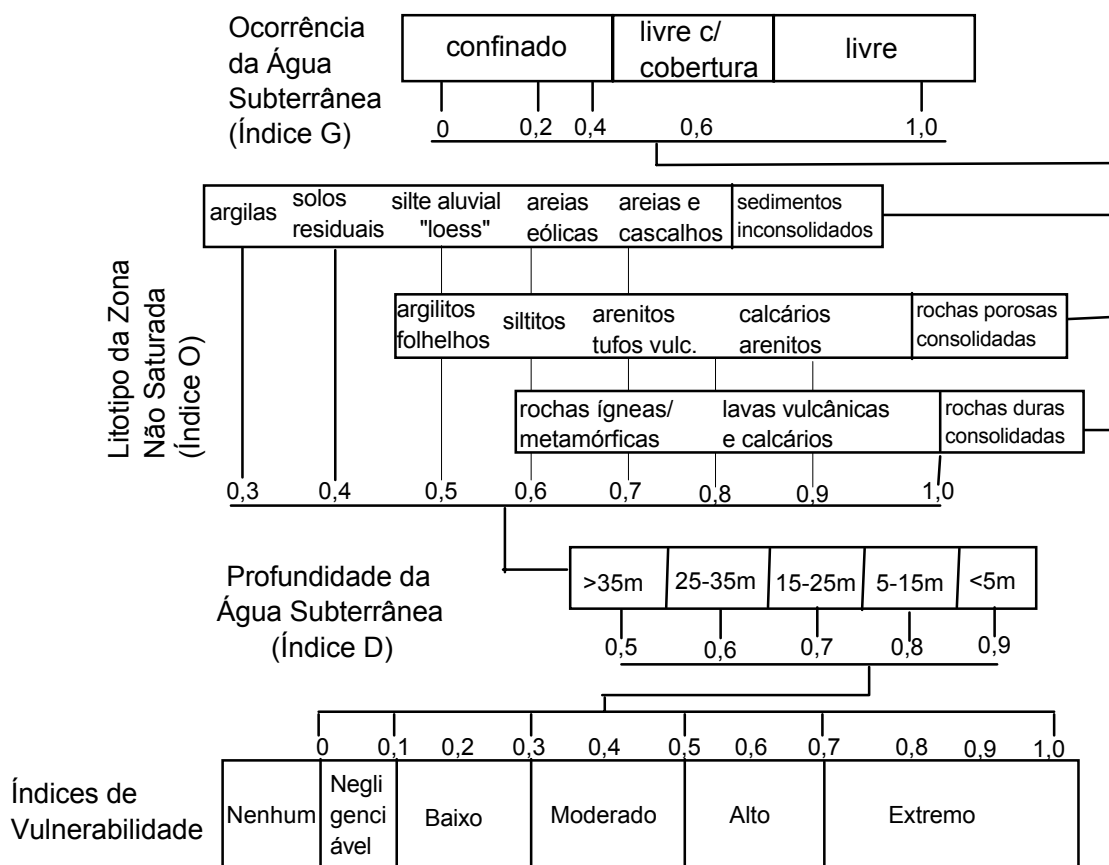


Figura 4- Esquema para determinar a vulnerabilidade natural de aquíferos através do Método GOD (modificado de Foster & Hirata 1993).

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com os valores apresentados na tabela 1, a condutividade hidráulica da zona não saturada encontra-se entre 18 a 23 cm/dia. Esses valores mostram-se bastante compatíveis para o tipo de material predominantemente arenoso que constitui os Sedimentos Pós-Barreiras (Sá *apud* Soares 1998), principalmente quando comparados aos mesmos sedimentos identificados na região de Barcarena (PA), distante cerca de 50 km da área enfocada, onde Melo Junior (2002) obteve valores bastante semelhantes para esse parâmetro.

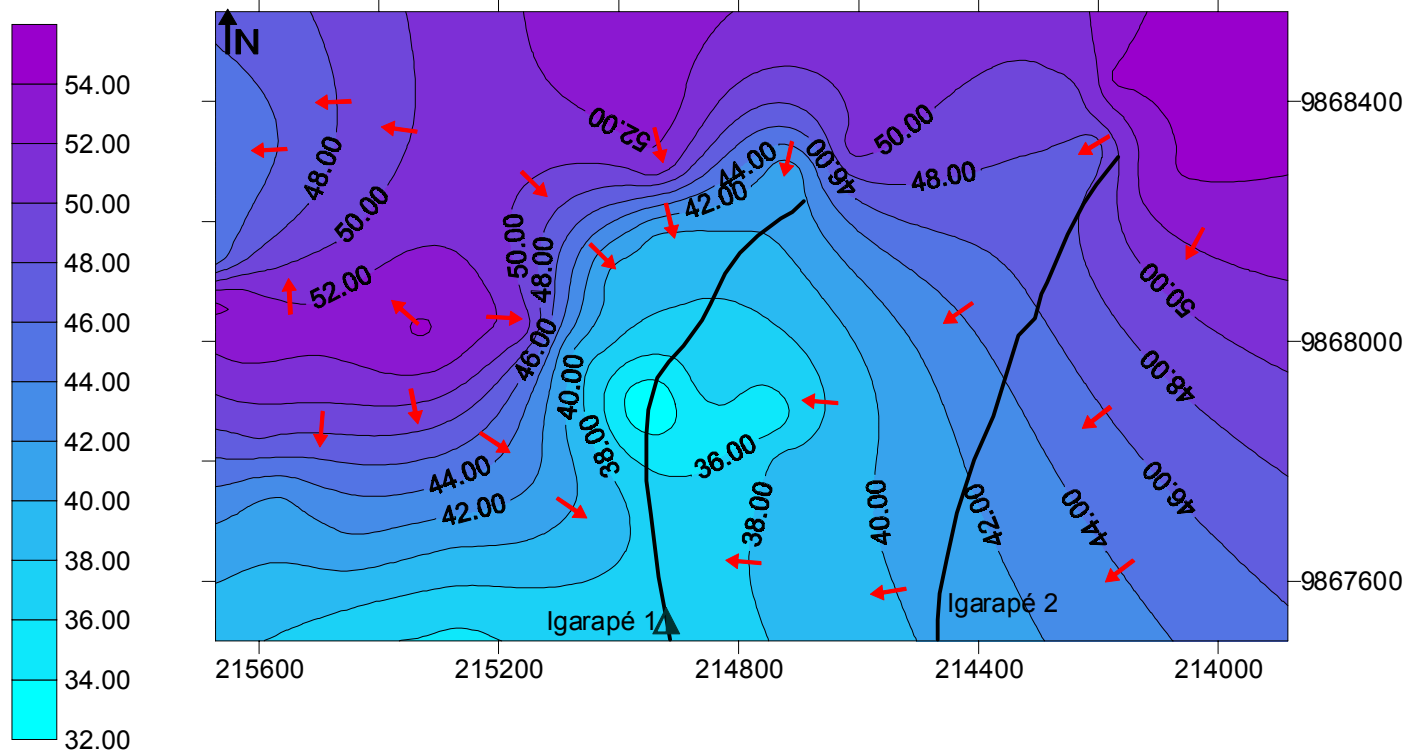
Tabela 1- Furos de trado e propriedades utilizadas nos ensaios de rebaixamento (ABGE 1996) na microbacia do igarapé Cumaru.


Furo	$d_0$	$d_1$	L (cm)	$\Delta h$ (cm)	$\Delta t$ (seg)	$h_0$ (cm)	K (cm/s)	K (m/dia)
PT1	15,0	14,5	150	149	2400	125	0,00027	0,2333
PT2	15,0	14,5	150	117	2400	125	0,00021	0,1814
PT3	15,0	14,5	150	145	2400	125	0,00026	0,2246


O fluxo subterrâneo é um dos parâmetros mais importantes na avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas; pois, juntamente com outras informações hidrogeológicas, é indispensável no estudo da evolução de plumas de contaminação. Para obter-se este parâmetro foram utilizados os valores das cotas topográficas e da profundidade do nível estático, em seguida foram subtraídos os valores do primeiro pelo segundo, obtendo-se então, o potencial hidráulico de cada ponto detalhado, através dos quais foi produzido o mapa com o fluxo subterrâneo do aquífero livre (Figura 5). A partir deste foi inferido manualmente o sentido do fluxo, através das linhas de isovalores de maior para o menor potencial hidráulico. O mapa de fluxo subterrâneo mostra o sentido preferencial do fluxo dentro do aquífero livre, e permite delimitar as áreas de recarga e descarga do mesmo.


Como pode observar-se na figura 5, existem três principais zonas de recarga na área em estudo, sendo estas nas partes noroeste, centro-norte e nordeste; enquanto que, a descarga do aquífero se dá na principalmente na zona central da área, por onde passa o igarapé 1 e secundariamente na parte sudeste, próximo ao igarapé 2.

**Valores do Potencial  
Hidráulico**



 Linhas de isovalores  
do potencial hidráulico

 Sentido do  
fluxo subterrâneo

 Estação Hidrológica

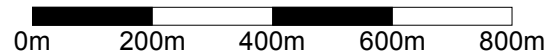


Figura 5- Mapa de potencial hidráulico da área estudada.

Para determinar a vulnerabilidade natural na área da bacia do igarapé Cumaru, o litotipo da zona não saturada (Índice O) foi identificado através de perfurações a trado manual; enquanto que, a profundidade do nível estático (Índice D) foi monitorada através dos piezômetros instalados na área. De posse desses dados, tornou-se possível classificar o tipo de ocorrência das águas subterrâneas (Índice O), compondo assim, os parâmetros necessários para determinar a vulnerabilidade do aquífero em estudo através da metodologia adotada.

A tabela 2 apresenta todos os parâmetros envolvidos na determinação da vulnerabilidade do aquífero e seus respectivos pesos atribuídos, através do modelo GOD (Foster & Hirata 1993).

Tabela 2- Parâmetros utilizados para determinar a vulnerabilidade do aquífero livre através do método GOD (Foster & Hirata 1993).

Piezômetro	Norte	Leste	Cota Topográfica (m)	Nível Estático (m)	Índice	Tipo de Aquífero	Zona Vadosa	Vulnerabilidade
G001	9868060	214892,4	40,709	2,77	0,9	1	0,7	0,63
G002	9868137	214956,9	45,601	6,17	0,8	1	0,7	0,56
G003	9867873	214747,3	38,148	3,53	0,8	1	0,7	0,56
G004	9867955	214652,2	41,021	2,53	0,9	1	0,7	0,63
G005	9868112	214940,7	44,044	4,3	0,8	1	0,7	0,56
G006	9868126	214911,5	44,504	5,21	0,8	1	0,7	0,56
G007	9868187	214934,3	48,017	8,01	0,8	1	0,7	0,56
G008	9868117	215016,4	46,073	6,5	0,8	1	0,7	0,56
G009	9867991	215029,4	41,681	3,1	0,9	1	0,7	0,63
G010	9868020	214970,6	39,661	1,82	0,9	1	0,7	0,63
G011	9867949	214952,7	36,69	1,89	0,9	1	0,7	0,63
G012	9867898	214952,8	35,123	3,44	0,9	1	0,7	0,63
G013	9867921	215045,7	40,22	2,98	0,9	1	0,7	0,63
G014	9867979	215076,2	43,173	3,95	0,9	1	0,7	0,63
G015	9867929	214850,4	33,649	1,89	0,9	1	0,7	0,63
G016	9868201	214878	48,109	7,56	0,8	1	0,7	0,56
G017	9868291	214709	48,2	7,43	0,8	1	0,7	0,56
G018	9868312	214616,1	54,423	3,9	0,8	1	0,7	0,56
G019	9868383	214908,9	62,816	10,46	0,7	1	0,7	0,49
G021	9867794	214722,6	42,181	3,17	0,9	0,6	0,4	0,27
G022	9868022	215157,1	56,987	5,89	0,8	1	0,7	0,56
G023	9868291	214930,3	62,211	10,61	0,7	0,6	0,4	0,21
G025	9868392	214194,6	53,267	1,89	0,9	1	0,7	0,63
G026	9868407	214235,4	51,707	2,34	0,9	1	0,7	0,63
G027	9868443	214263,5	52,082	2,04	0,9	1	0,7	0,63
G028	9868004	215325,9	56,502	2,15	0,9	1	0,7	0,63
G029	9868443	214174,7	54,527	2,1	0,9	1	0,7	0,63
G030	9868352	214249,5	50,593	1,24	0,9	1	0,7	0,63
G031	9868322	214220,4	52,385	6,31	0,8	1	0,7	0,56
G032	9868455	213883,5	65,372	10,67	0,7	1	0,7	0,49
G033	9867660	215448,1	46,022	4,42	0,8	1	0,7	0,56
G034	9868549	214269,6	56,27	5,58	0,8	1	0,7	0,56
G035	9868265	214105,5	56,807	3,07	0,9	1	0,7	0,63
G037	9868449	214211,7	53,485	2,52	0,9	1	0,7	0,56
G040	9867740	215025,4	46,141	7,04	0,8	0,6	0,4	0,24
G041	9868004	215323		6,5	0,8	0,6	0,7	0,336



G042	9867932	215166,8	54,402	8,43	0,8	1	0,5	0,4
G043	9868190	215458,3	52,699	3,15	0,9	0,6	0,5	0,27
G044	9868335	215614,1	55,975	10,99	0,7	0,6	0,5	0,21
G045	9868109	215672,9	50,356	5,33	0,8	0,6	0,5	0,24
G048	9867710	215174,4	45,881	4,5	0,9	0,6	0,7	0,378
G049	9867657	215279,7	43,189	3,16	0,9	1	0,7	0,63
G050	9867782	215110,9	48,011	8,73	0,8	1	0,7	0,56
G051	9867739	215575,1	48,63	7,11	0,8	1	0,7	0,56
G052	9867499	215261,3	36,377	1,03	0,9	1	0,7	0,63
G053	9868092	215669,8	59,827	4,93	0,9	1	0,7	0,63
G054	9867833	215601	53,291	5,47	0,8	1	0,7	0,56
G055	9867506	215398	37,343	1,14	0,9	1	0,7	0,63

O aquífero em estudo, pode ser considerado predominantemente livre. No entanto; observou-se, através das perfurações a trado manual, a presença de lentes argilosas, que podem fornecer alguma proteção ao sistema, porém de forma localizada. Nessas áreas restritas, o aquífero foi considerado livre com cobertura, de acordo com a metodologia adotada. Portanto, para o índice "G" (tipo de aquífero) foram adotados valores de 0.6 nas áreas onde ocorre essa pequena proteção natural, enquanto que os valores adotados no resto da área, onde o aquífero encontra-se totalmente livre, foram de 1.0, cuja distribuição espacial na área pode ser observada no mapa da figura 6.

Os sedimentos da área apresentam-se bastante uniformes, havendo predominância de material arenoso a areno-siltoso com intercalações de lentes argilosas. Tendo como base o critério adotado por Fernández & Arensburg (1994); que dividiram a zona não saturada em diversas categorias, considerou-se para o presente trabalho, uma zona constituída por areia e seixo, areia siltosa, silte areno-argiloso e argila, cujos valores atribuídos ao índice "O" (litotipo da zona não saturada) foram 0.69, 0.59, 0.49 e 0.39, respectivamente (Figura 7).

Para o índice "D" (profundidade do nível estático) foram inferidos os valores de 0.9 onde o nível estático encontrava-se a profundidades inferiores a 5 metros, 0.8 onde o nível da água encontrava-se entre 5 a 10 metros e 0.7 para profundidades entre 10 a 15 metros (Figura 8).

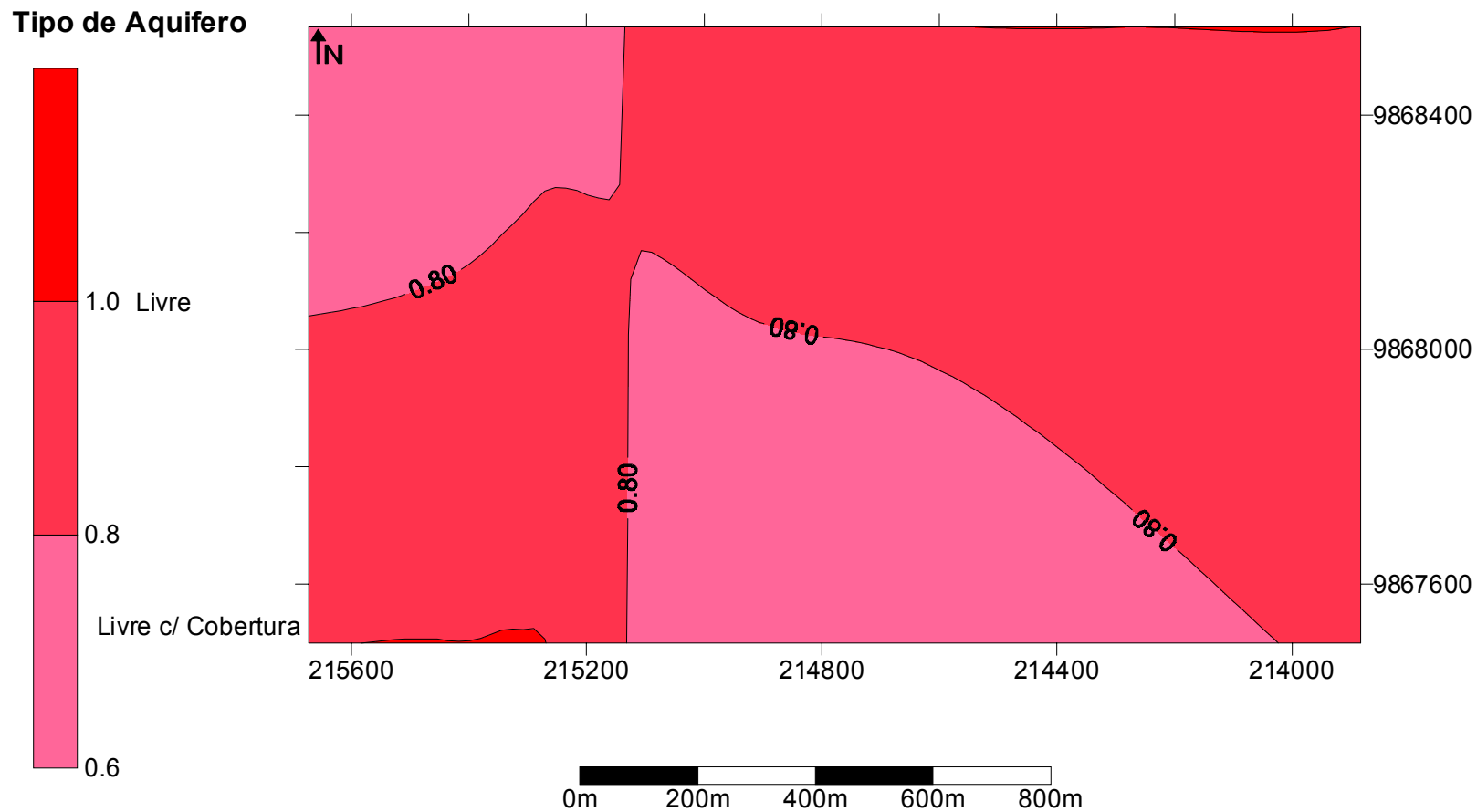


Figura 6- Tipos de aquíferos identificados.

### Índices dos Sedimentos Constituintes da Zona Vadosa

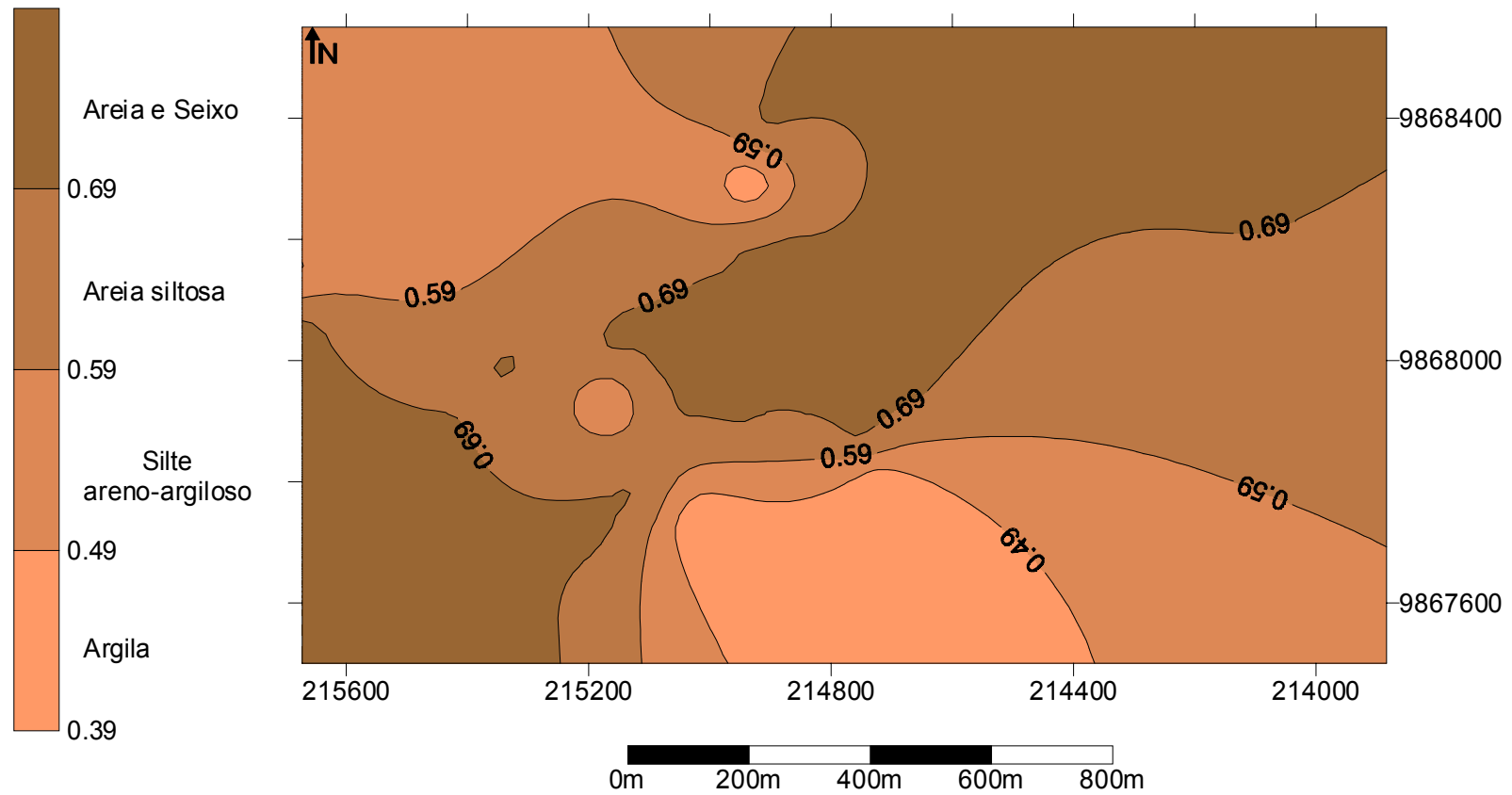


Figura 7- Sedimentos constituintes da zona vadosa.

Índices de Profundidade  
do Nível Estático

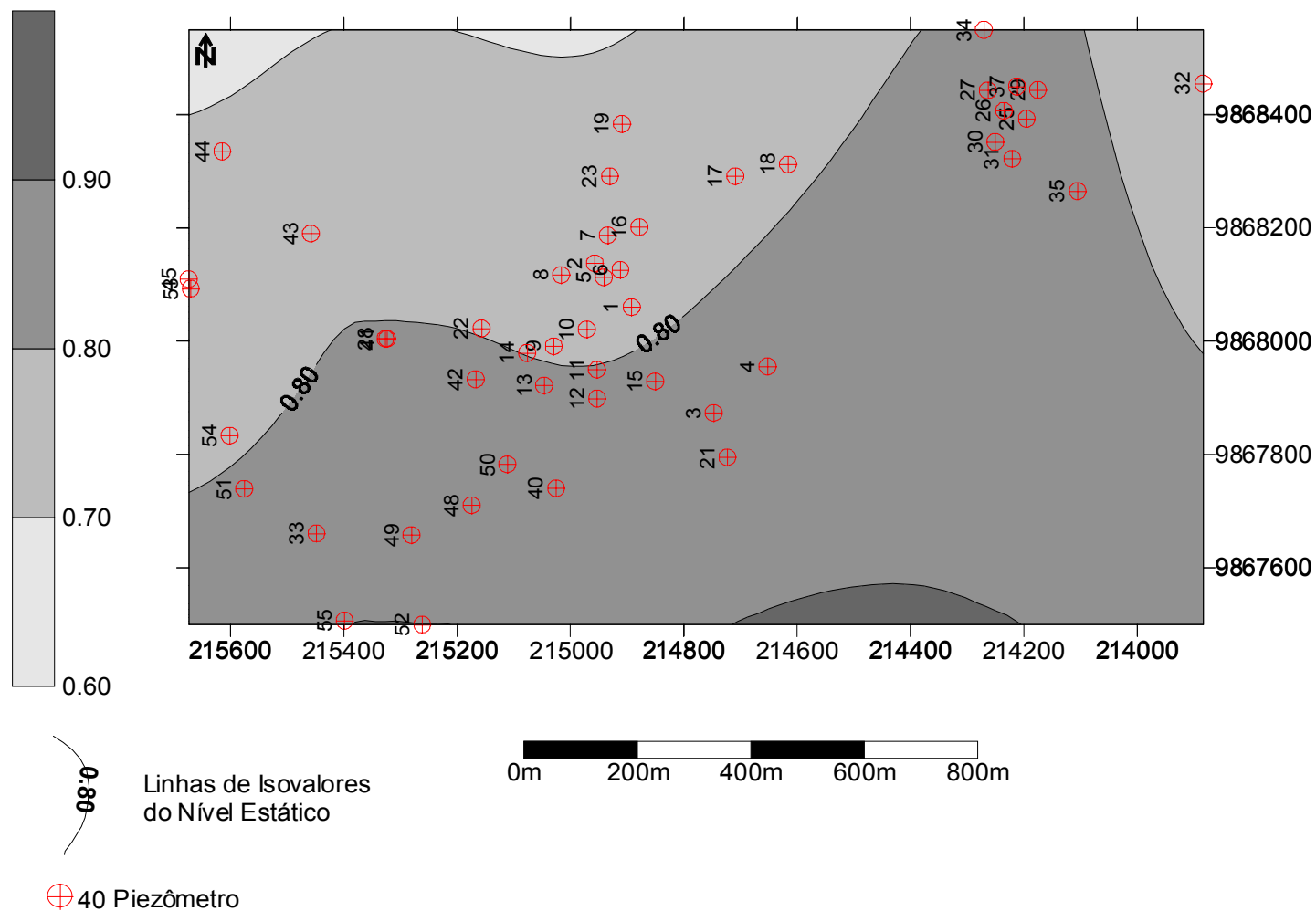


Figura 8- Índices de profundidade do nível estático

Com os três parâmetros definidos, e multiplicados entre si os índices inferidos a cada um, foram obtidos os graus de vulnerabilidade final para o aquífero na bacia hidrográfica do igarapé Cumaru, cujos valores variam de 0.63 a 0.21, correspondendo portanto, a índices de alta a baixa vulnerabilidade, respectivamente (Figura 9). Vale ressaltar no entanto que, os locais onde a vulnerabilidade apresenta-se baixa são pequenos e restritos, predominando na área índices de vulnerabilidade entre moderado a alto.

### Índices de Vulnerabilidade

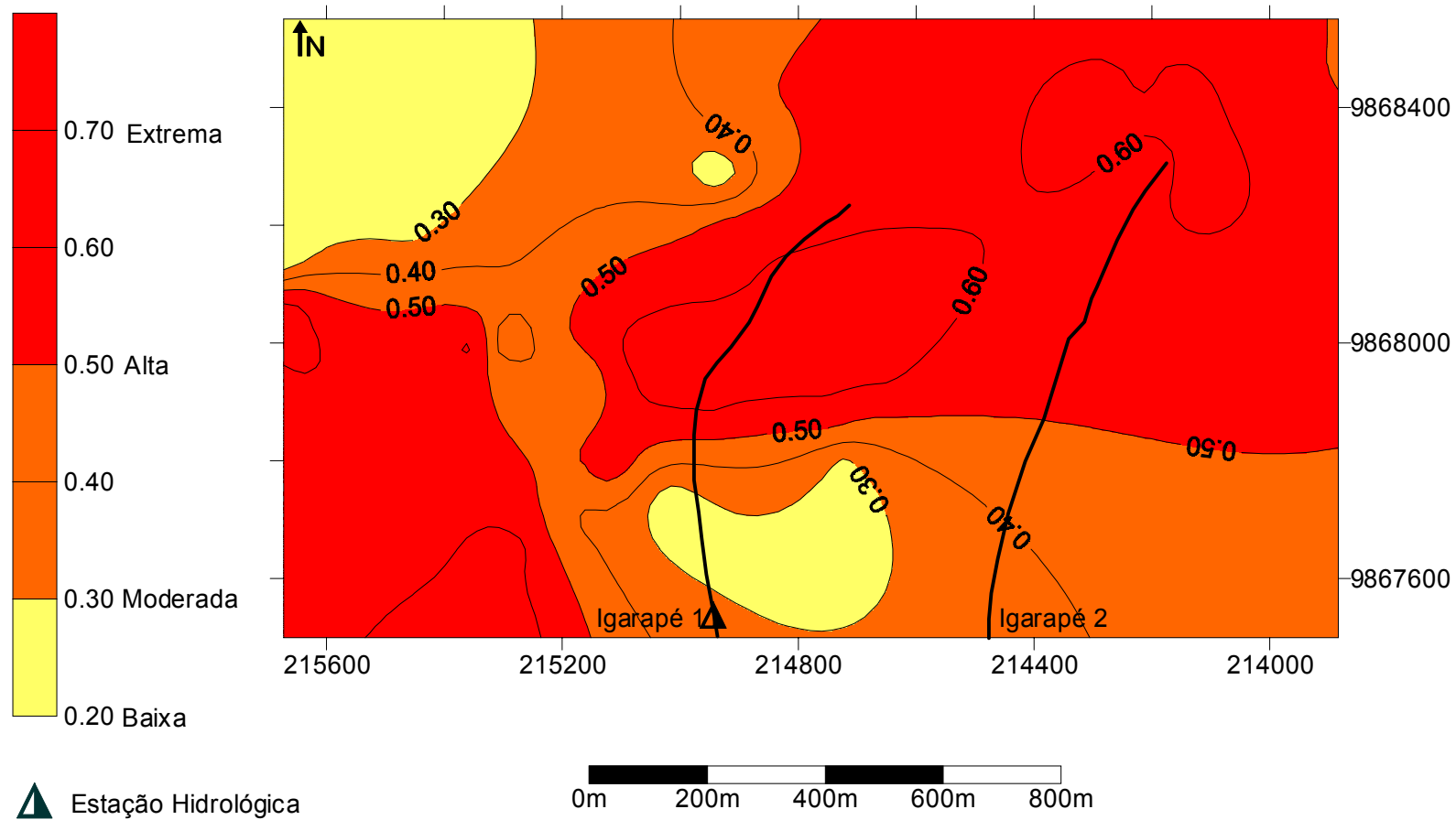


Figura 9- Índices finais de vulnerabilidade.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com o que foi observado ao longo do primeiro ano de execução deste trabalho foi possível concluir que dentro da área de abrangência da microbacia hidrográfica do igarapé Cumaru, com cerca de 16 km<sup>2</sup>, os sedimentos constituintes do aquífero livre em estudo são predominantemente arenosos, com ocorrência de areia fina siltosa a cascalho fino, sendo estes de coloração creme amarelada, cinza a vermelho, mal selecionados, subangulosos, intercalados a algumas lentes de argila que localmente fornecem alguma proteção ao aquífero. Estes sedimentos foram identificados como Sedimentos Pós-Barreiras, onde Simões (*apud* Farias *et al.* 1992) obteve a datação de 5200 anos baseado em concentrações residuais de conchas inseridas nesses pacotes.

A condutividade hidráulica da zona não saturada apresenta valores elevados, mas compatíveis para esse tipo de material e possui valores aproximados daqueles identificados por Melo Junior (2002) na região de Barcarena, distante cerca de 50 km da área enfocada. Sendo que, nos domínios da microbacia do igarapé Cumaru este parâmetro apresenta valores entre  $2.1 \times 10^{-4}$  a  $2.7 \times 10^{-4}$  cm/seg ou 18 a 23 cm/dia, respectivamente.

As zonas de recarga e descarga acompanham a topografia de superfície, havendo três principais zonas de recarga na área, sendo estas nas partes noroeste, centro-norte e nordeste; enquanto que, a descarga do aquífero se dá principalmente na zona central da área, por onde passa o igarapé 1 e secundariamente na parte sudeste, próximo ao igarapé 2 (Figura 5).

A vulnerabilidade natural do aquífero livre apresenta valores baixos (0.21 a 0.27), moderados (0.336 a 0.49) e altos (0.56 a 0.63). No entanto, nota-se a predominância de áreas com valores moderado a alto (Figura 9). O fato de haver nesta região intensa atividade agrícola é preocupante, o que torna necessário que órgãos ambientais tomem medidas preventivas a fim de conscientizar os produtores locais a evitar a contaminação dos recursos hídricos.

Como essa região é historicamente explorada pela agricultura há cerca de 50 anos, onde as culturas mais tradicionais são o milho, a mandioca, o feijão e o arroz; no entanto, nos últimos anos houve uma mudança devido a fatores de mercado para o cultivo de dendê, pimenta do reino e maracujá, além de pequenas hortas de mamão, pepino, maxixe, pimenta doce, dentre outros. O fato preocupante é que nesses casos e principalmente na plantação do maracujá e da pimenta do reino, o uso de insumos agrícolas e pesticidas é bastante intenso, o que torna necessário uma investigação dos recursos hídricos locais a fim de identificar e tentar quantificar qualquer tipo de contaminação através deste tipo de atividade. Essa frente de ação já vem sendo efetivada dentro do projeto SHIFT, mas deve ser alavancada na próxima fase, a fim de proteger os recursos hídricos da região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE). 1996. Ensaio de permeabilidade em solos. Boletim 04.
- FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F.S. & FERREIRA, M.A.A. 1992. Estágio de Campo III. Relatório Final, área Belém/Outeiro. Belém/ UFPA: Centro de Geociências. Departamento de Geologia, 247p.
- FERNÁNDEZ, A.E. & ARENSBURG, I.V. 1994. Grados de vulnerabilidad del sistema acuífero del gran Buenos Aires. Criterios para su determinación. II Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Santiago do Chile. p. 17-30.
- FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R.C.A. 1993. Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: Um Método Baseado em Dados Existentes. São Paulo - Instituto Geológico, p. il., tabs. 23cm. (Boletim, 10).
- MELO JUNIOR, H. R. 2002. Mapeamento da Vulnerabilidade e Análise de Risco de Contaminação como Instrumentos de Proteção das Águas Subterrâneas em Áreas Industriais: Caso da ALBRAS, Barcarena-PA. Tese de Mestrado em Geologia e Geoquímica. CPGG/UFPA. 150p.
- SOARES, J.A. 1998. Avaliação Preliminar da Vulnerabilidade do Aquífero Livre na Área do Distrito Industrial de Barcarena – Trabalho de Conclusão de Curso. CG/UFPA. 86p.
- WICKEL, A.J., VAN DE GIESEN, N.C., SÁ, T., MELO JR. H.R., VLEK, P.L.G., VIELHAUER, K., DENICH, M. Water and nutrient dynamics at various spatial scales of the Cumaru watershed, Eastern Amazon region, Brazil: First results. Spring Meeting American Geophysical Union (AGU), Washington D.C., USA, Maio 2002.