

# ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA A IMPLANTAÇÃO DO CEMITÉRIO MAX DOMINI II – REGIÃO DE BELÉM - PARÁ

Wilson de Oliveira<sup>1</sup>; Eduardo Marechal Tagliarini<sup>2</sup> & Antonio Carlos F. N. S. Tancredi<sup>2</sup>

**RESUMO** - A caracterização hidrogeológica é fundamental para a implantação correta de cemitérios. A área do cemitério Max Domini II, apresenta, a partir da superfície do terreno, até 20 m de profundidade camadas de argila arenosa amarelada e argila variegada e uma camada arenosa. Esta camada arenosa constitui um aquífero do tipo livre, com o lençol freático situado entre 5,50 m e 7,07 m.

O movimento descendente da água subterrânea na zona insaturada é lento, devido à baixa permeabilidade, com condições litológicas favoráveis para a biodegradação e atenuação de contaminantes, nesta região de clima equatorial úmido.

O aquífero livre da parte superior tem espessura de 12,50 m, gradiente hidráulico de 12m/km e velocidade do fluxo da água subterrânea de 0,0096 m/dia.

A vulnerabilidade natural desse aquífero apresenta índice de 0,1 – negligenciável, no Sistema de Avaliação de Foster & Hirata. Essa baixa vulnerabilidade relaciona-se principalmente às camadas argilosas da parte superior do terreno, de baixa permeabilidade, atuando como uma barreira impermeável de proteção.

**ABSTRACT** - The hydrogeologic characterization is very important to locate correctly the site for cemetery implementation. The Max Domini II Cemetery presents from surface to 20 m depth, yellow sandy clay, variegated clay and a sandy layer. This sand layer forms an unconfined aquifer with the water table ranging from 5.50 m to 7.07 m.

The descending water in the vadose zone is slow because of the low permeability and this condition favors biodegradation and attenuation of contaminants, in this region of humid equatorial.

The upper unconfined aquifer is 12,50 m thick, 12 m/km of hydraulic gradient and a groundwater flow velocity of 0,0096 m/day.

The natural vulnerability presents a value of 0.1 in the Foster & Hirata Evaluation System. The low vulnerability is due to mainly the clay layers in the upper part, with low permeability, acting like a protection impermeable barrier.

---

<sup>1</sup> PETEM – Hidrogeologia e Poços Ltda. Trav. Dom Romualdo de Seixas, 1905 . Belém – Pará  
Tel (0xx91) 9982-2549

<sup>2</sup> LUPA – Laboratório Unificado de Pesquisa e Assessoria. Belém – Pará  
Tel (0xx91) 222-0983

**Palavras - chave:** cemitério, estudo hidrogeológico

## **1. INTRODUÇÃO**

A caracterização hidrogeológica tem importância fundamental para a implantação correta de cemitérios. A água no sub-solo é a principal condicionante para a adequada construção e operação dos mesmos.

Os processos de decomposição de cadáveres bem como a filtragem e migração do necro-chorume até os mananciais de água subterrânea são controlados pela natureza dos terrenos.

Este trabalho apresenta a avaliação das condições hidrogeológicas na área do Cemitério Max Domini II e às suas proximidades.

Inicialmente, OLIVEIRA (1996) desenvolveu pesquisas para a implantação do Cemitério Max Domini II. Posteriormente TANCREDI & TAGLIARINI realizaram estudos para ampliação do mesmo.

### **1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

A área do Cemitério Max Domini II, com uma superfície em torno de 20 hectares, está localizada no Município de Marituba, na região metropolitana de Belém, à margem da rodovia BR-316, a 3 km do centro da cidade de Marituba e a cerca de 30 km de Belém, com latitude de 1°22'14" S e longitude de 48°18'55" W, em sua parte central (Figuras 1). O acesso é rodoviário através da rodovia BR-316.

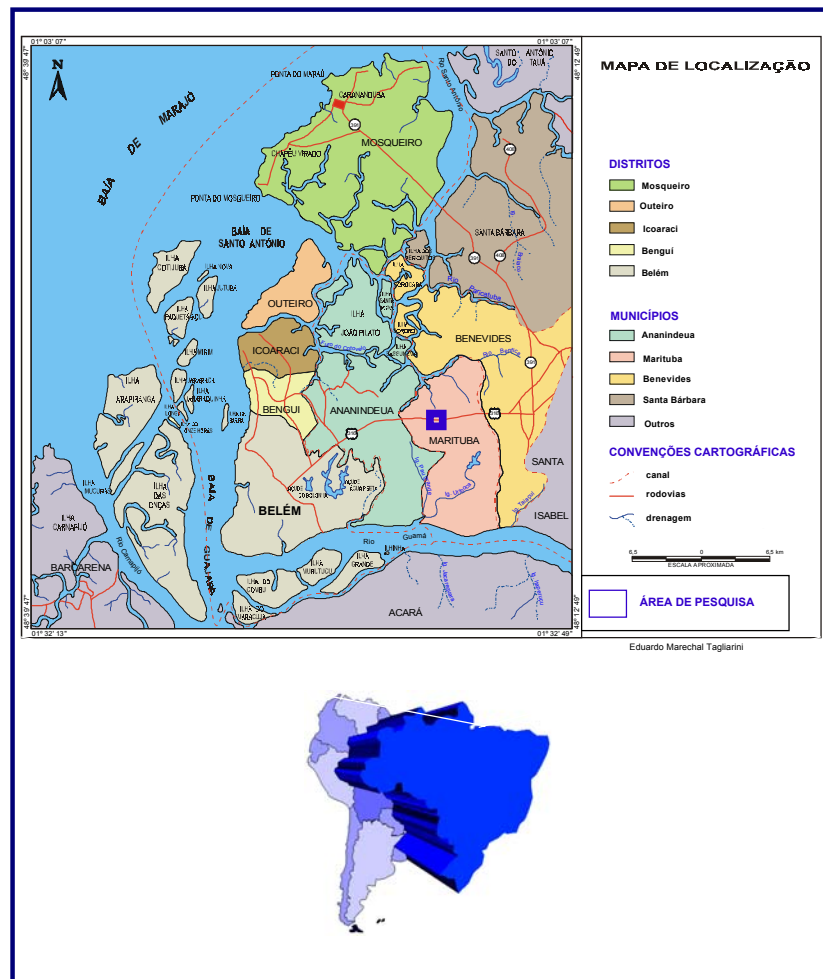


Figura 1 – Localização geral da área na região metropolitana de Belém.

## 2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

A área situa-se no domínio de clima equatorial úmido, tipo Af, segundo a classificação de Köppen (SUDAM, 1984).

As características climáticas médias anuais apresentam os seguintes valores (DNMET, 1992):

- Temperatura 25,9 °C
- Precipitação pluviométrica total 2.893,1 mm
- Evaporação total 771,6 mm
- Umidade relativa do ar 84,0 %
- Insolação total 2.219,8 h.

A vegetação original na região metropolitana de Belém foi de uma Floresta Tropical Úmida Perenifolia, com grande heterogeneidade na composição das espécies florestais. Os principais tipos incluem Vegetação de Floresta Densa, associada aos terrenos mais elevados e Vegetação de Várzea, de áreas baixas ou inundáveis.

Devido à ação antrópica, a floresta primitiva foi sendo alterada na sua cobertura original, sendo a maior parte desflorestada devido à urbanização. Ocorre ainda Florestas Secundárias, Áreas de Campos e Áreas de Capoeiras, onde originalmente assentava-se a floresta original. A área é ocupada atualmente por vegetação gramínea.

A pedologia na região metropolitana de Belém apresenta latossolos amarelos, de textura variada e concrecionário laterítico; latossolos amarelos de textura média; solos hidromórficos gleizados de textura variada; e podzol hidromórfico.

Os solos concrecionários lateríticos são originados a partir de sedimentos argilo-arenosos da Grupo Barreiras e apresentam em muitos locais abundantes concreções ferruginosas.

Os solos hidromórficos gleizados são formados a partir de sedimentos recentes do Quaternário e contêm elevado teor argiloso e siltoso.

Os solos tipo podzólicos hidromórficos originam-se de sedimentos areno-argilosos do Grupo Barreiras e do Quaternário.

Na área predominam latossolos amarelos há também solos concrecionários lateríticos.

A bacia hidrográfica que drena essa região pertence ao rio Mocajutuba, o qual após junção com os rios Santo Amaro, Benfica e Maguari, bifurca-se em vários canais, dos quais os dois principais, o furo do Maguari tem direção para oeste e o furo das Marinhas tem direção para norte. A drenagem final, intercomunicante, do furo do Maguari e do furo das Marinhas é para a baía de Marajó, na parte sul do estuário do rio Amazonas.

### **3. GEOLOGIA**

A região nordeste do Pará, onde situa-se a região metropolitana de Belém apresenta uma cobertura sedimentar sobrejacendo a um embasamento cristalino, o qual apresenta rochas de variados graus de metamorfismo, como gnaisses, quartizitos, xistos e filitos.

A cobertura sedimentar é constituída essencialmente pelas rochas da Formação Pirabas, do Grupo Barreiras e sedimentos do Quaternário. Há uma certa reserva com essa seqüência na parte inferior, sotoposta ao Grupo Barreiras, que poderia pertencer à Formação Marajó e/ou a outras formações.

A espessura do pacote sedimentar ainda não é bastante conhecida. Uma linha sísmica ao longo da baía de Guajará evidenciou o embasamento cristalino a 500 m de profundidade.

Na parte superior a partir da superfície do terreno a geologia apresenta depósitos sedimentares do Quaternário e do Terciário

Os sedimentos do Quaternário são constituídos por areias, siltes e argilas, transportados e depositados na planície aluvial dos rios da região. Esses depósitos são de idade Holocênica e tem espessura máxima em torno de 30 m, evidenciado por sondagens geotécnicas (GEIPOT, 1978).

Os depósitos areno-argilosos de coloração amarelada, mais antigos, de idade Pleistocênica tem sido referidos como Pós-Barreiras (SILVA & LOWENSTEIN, 1988).

A seqüência sedimentar do Terciário compreende o Grupo Barreira de origem essencialmente continental e a Formação Pirabas, de origem marinha.

O Grupo Barreira é constituído por argilas, siltes, areias, cascalhos, arenitos, siltitos, conglomerados, níveis de concreções ferruginosas, arenito ferruginoso. São de coloração amarelada, marrom, com argilas multicoloridas, variegadas, à vezes claras caoliníticas, às vezes cinzas com matéria orgânica.

O Grupo Barreiras é constituído por duas unidades separados por uma inconformidade. A parte superior, regressiva, com fácies fluvial e feições de fluxos gravitacionais. A parte basal mostra a presença de fácies de planície de lama, de lama/areia e de canais de maré, com zonas próximas e distantes da atual linha de costa (ARAI et all, 1992).

A seqüência litológica desses sedimentos clásticos do Grupo Barreiras tem distribuição espacial bastante irregular, com camadas horizontais a sub-horizontais, de espessura e continuidade lateral muito variáveis. A espessura total do Grupo Barreiras atinge em torno de 100 m.

Sotoposta ao Grupo Barreira, a partir de 80 m de profundidade encontra-se a Formação Pirabas, não aflorando na área. É constituída por calcários, areias, argilas, margas, arenitos, siltitos, argilitos, depositados em ambiente marinho, durante o Mioceno, sendo ricamente fossilífera.

### **3. 1 GEOMORFOLOGIA**

As principais unidade morfo-estruturais resultante dos processos geomorfológicos das paisagens encontradas na região metropolitana de Belém são constituídas pelo Planalto Rebaixado da Amazônia e pela Planície Amazônica.

O Planalto Rebaixado da Amazônia apresenta um relevo com extensas superfícies planas, suavemente onduladas e dissecadas, tendo se desenvolvido em rochas do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras.

Os sistemas de colinas, no Planalto Rebaixado da Amazônia, funcionam como interflúvios, destacando-se como principal o divisor entre as drenagens da bacia do Rio Guamá e das bacias dos Furos Maguari e das Marinhas.

A Planície Amazônica situa-se acompanhando as margens do rio Guamá, do Furo Maguari, do Furo das Marinhas e dos baixos cursos de seus afluentes. É caracterizada por uma área plana, formada por depósitos aluviais Quaternários, com áreas alagadas e inundáveis periodicamente pela chuvas e pelas marés.

Na área a geomorfolgia é constituída pelo Planalto Rebaixado da Amazônia.

### **3.2 GEOLOGIA LOCAL**

Na área do Max Domini II, a partir da superfície do terreno e com base nas sondagens efetuadas no local, a geologia apresenta uma cobertura sedimentar dos períodos Quaternário e Terciário. Os sedimentos e rochas que compõem estas unidades litoestratigráficas apresentam-se inconsolidados.

A seqüência litológica apresenta um estrato de argila arenosa amarela, na parte superior do terreno, com espessura variando de 1,00 m a 3,00 m e pertence essa litologia ao Quaternário.

Subjacente a camada de argila arenosa amarela há uma camada de argila variegada, caulínica, de coloração amarelo avermelhada, as vezes clara. Essa camada situa-se em seu topo de 1,00 m a 3,00 m de profundidade, sua base está a mais de 8,00 m de profundidade. Essa camada contém lentes de areia fina com espessuras que variam entre 0,50 m a 3,00 m até a profundidade de 7,00 m, em profundidade maiores não se tem sua espessura.

Subjacente a camada de argila variegada há um estrato de sedimentos clásticos arenosos. Essa camada de argila variegada constitui o topo do Grupo Barreiras nessa área.

A profundidades maiores há uma sucessão de estratos arenosos e argilosos.

O topo da Formação Pirabas situa-se a cerca de 90 m de profundidade, com base em perfurações próximas. A profundidade do embasamento ainda não é conhecida nessa área.

### **4. HIDROGEOLOGIA**

As atividades antrópicas são registradas no transporte da fase líquida na zona insaturada e no fluxo da água subterrânea na zona saturada.

As amostras obtidas a partir das sondagens forneceram em detalhe as características hidrolíticas de subsuperfície e as condições hidrogeológicas da área.

O sistema hidrogeológico apresenta sedimentos clásticos arenosos, siltsos, argilosos e concreções ferruginosas formando a zona insaturada. A zona saturada é formada em sua parte superior por sedimentos arenosos constituindo um aquífero.

A Figura 2 apresenta o mapa hidrogeológico da área e a Figura 3 o bloco hidroestratigráfico.

#### **4.1 ZONA INSATURADA**

O movimento da água subterrânea nesta zona é vertical, controlado pelas forças gravitacional e capilar. A zona insaturada exerce importante proteção da qualidade da água subterrânea, constituindo-se na função filtro dos aquíferos.

As perfurações evidenciaram uma camada de argila arenosa amarela sobrejacente a uma camada de argilas variegadas amarelo avermelhadas constituindo toda espessura da zona insaturada. A camada de argila arenosa tem sua espessura variando de 1,00 m a 3,00 m.

A camada da argila variegada subjacente é constituída do topo para base, de argilas de cor cinza claro e/ou cinza, arenosas, geralmente plásticas, gradando para argilas de coloração variegada, com tons cinzas, amarelos e em alguns casos, observam-se argilas vermelhas. Com a gradação, nota-se o aumento da concentração das concreções lateríticas, chegando a formar pequenas crostas.

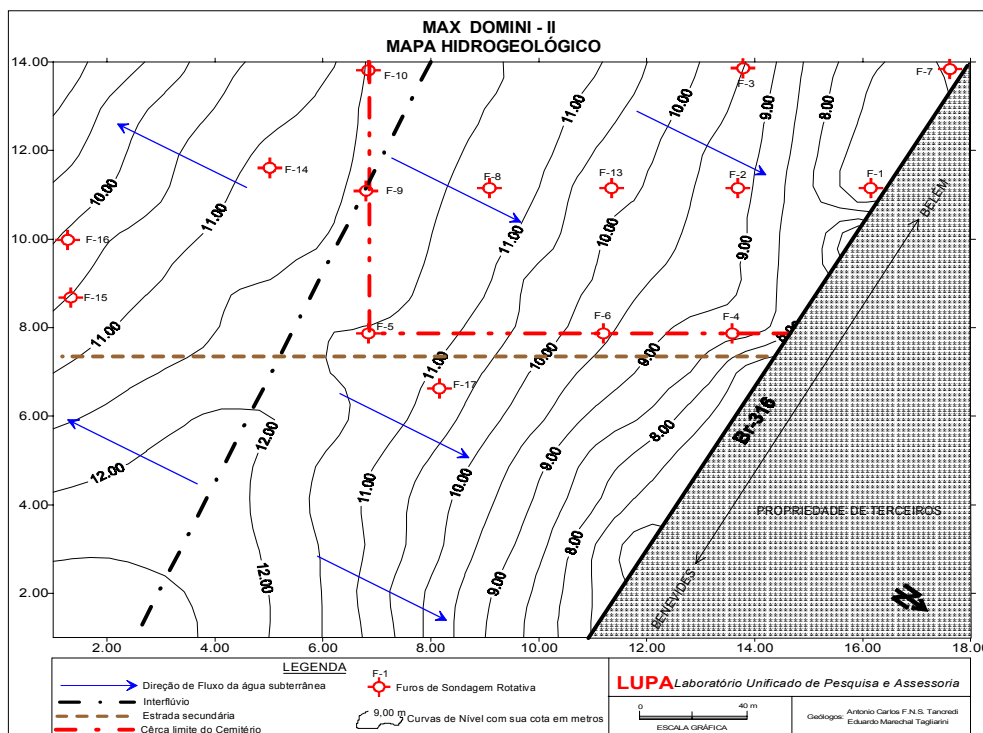


Figura 2 – Mapa Hidrogeológico da área.

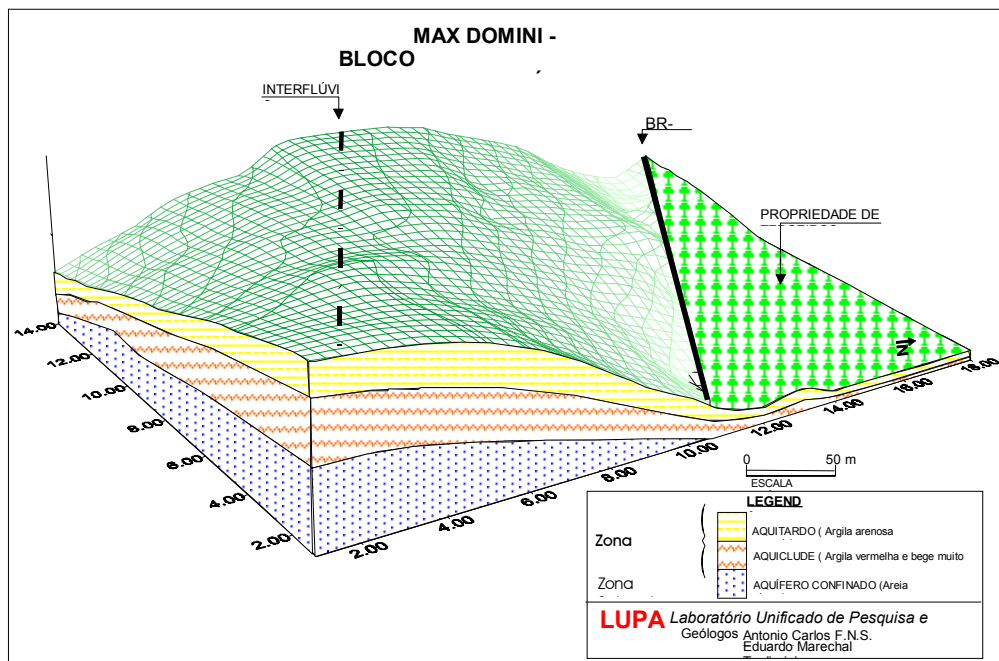


Figura 3 – Bloco Hidroestratigráfico da área.

O movimento da água subterrânea na zona insaturada neste local é muito lento devido à camada de areia argilosa amarela e principalmente devido a camada de argila variegadas subjacente muito mais impermeável.

Um ensaio de infiltração foi realizado na parte central da área (F 17) na camada de argila arenosa amarela apresentou para a condutividade hidráulica o valor de  $1,8 \times 10^{-2}$  m/dia.

Esse ensaio utilizou o método de nível constante, da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1996) para ensaios de permeabilidade em solos. Consistiu essencialmente no preenchimento com água de uma perfuração de 0,93 m de profundidade e 76,2 mm (3”) de diâmetro. Essa perfuração foi revestida com tubo de 76,2 mm (3”) e 0,60 m de comprimento até o nível de referência adotado na profundidade de 0,15 m do tubo que no terreno correspondeu a profundidade 0,00 m. Durante o ensaio esse nível de água foi mantido constante através da introdução de água para o interior da perfuração, com medida desta vazão.

Esse movimento descendente lento e em ambiente aeróbico propicia a biodegradação da matéria orgânica, eliminação de micro-organismos e atenuação de substâncias químicas. Qualquer necro-chorume permanecerá na vizinhança do local, onde será degradado pela oxidação, filtragem natural e troca de íons entre a argila e o necro-chorume. A litologia argilosa na zona insaturada é uma das condições mais favoráveis para biodegradação e atenuação nas regiões de clima úmido, como o desta área.



## 4.2 ZONA SATURADA

A camada arenosa saturada subjacente a zona insaturada, neste local constitui um aquífero do tipo livre, formado por sedimentos arenosos. Seu topo situa-se, nas profundidades compreendidas entre 5,50 m a 7,07 m

Nas condições naturais a água subterrânea move-se lateralmente e da parte mais elevada para a mais baixa.

O movimento da água subterrânea é importante em muitos problemas, particularmente aos relacionados à poluição.

As características litológicas da zona saturada estão intimamente relacionadas ao armazenamento e condução da água subterrânea.

Os sedimentos que constituem a camada de areia abaixo do nível hidrostático são de composição predominantemente quartzosa.

A constituição litológica e a granulometria desses sedimentos, determinadas por análise granulométrica (Figuras 4 e 5), indica areia média, pobremente selecionada, com curva granulométrica platicúrtica aproximadamente simétrica. O tamanho efetivo dos grãos é de 0,190 mm, e o coeficiente de uniformidade 2,63.

As características hidrodinâmicas do aquífero subjacente a zona insaturada, foram determinadas em laboratório e *in situ* através de um ensaio de bombeamento no poço existente no local, possibilitando a determinação da transmissividade e da condutividade hidráulica.

A determinação do coeficiente de armazenamento do aquífero subjacente, do tipo livre, foi realizada no laboratório, com amostra da litologia do aquífero, obtida através das perfurações.

Num aquífero livre, o coeficiente de armazenamento corresponde à porosidade efetiva ou específica, sendo determinada através de pesagens apresentando o valor de 0,22 ou 22,0 %.

O ensaio de bombeamento para o teste de aquífero consistiu essencialmente no bombeamento do poço a uma vazão constante, com observação dos potenciais hidráulicos.

Esse ensaio foi de curta duração, sendo monitorado a vazão e os rebaixamentos com o tempo de bombeamento.

As características hidrodinâmicas foram calculadas através da interpretação do ensaio de bombeamento.

Foram também determinados o gradiente hidráulico, a direção e a velocidade do fluxo da água subterrânea, com base nos potenciais hidráulicos observados nas perfurações.

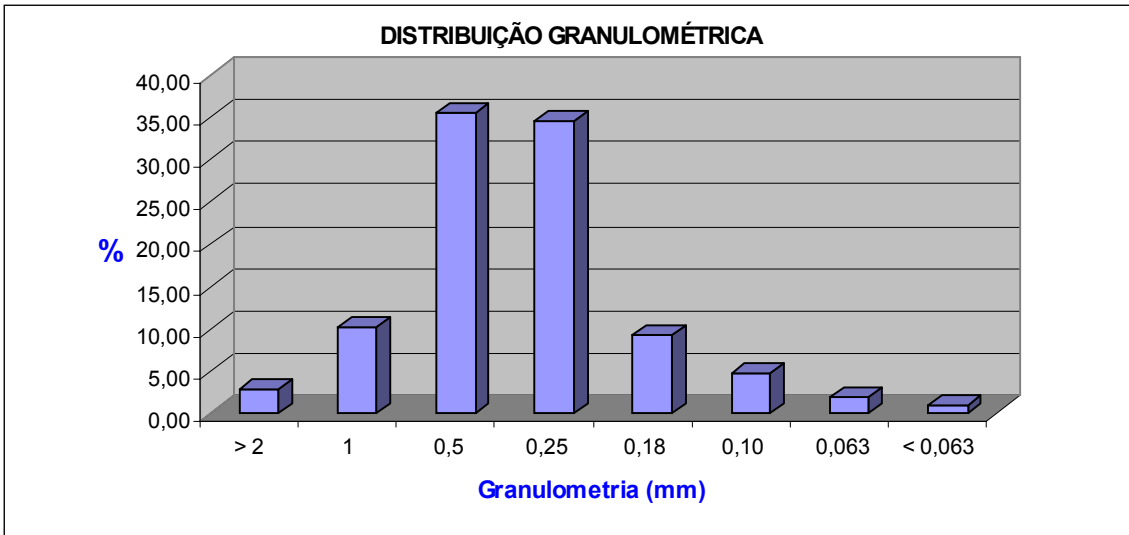


Figura 4 – Histograma do sedimento arenoso do aquífero.

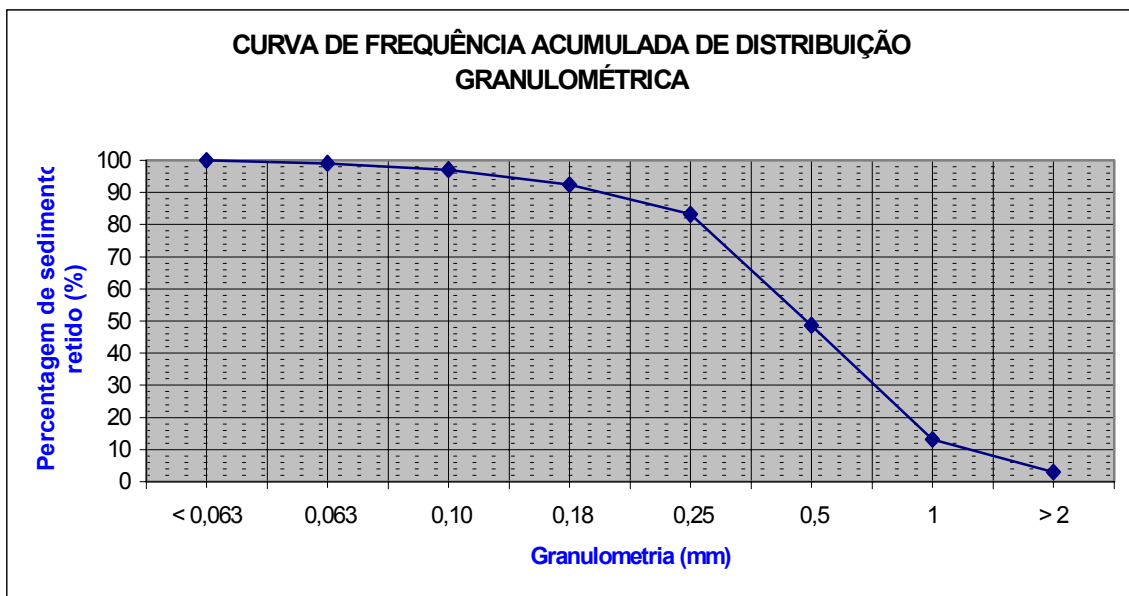


Figura 5 – Curva de frequência acumulada dos sedimentos do aquífero.

O gradiente hidráulico apresentou o valor de 0,012 ou 12,00 m/km, no sentido norte para a BR 316 e também de 0,012 ou 12,00 m/km no sentido ao sul (oposto) na parte sul.

A determinação das características hidráulicas do aquífero possibilitou o cálculo da velocidade de fluxo da água subterrânea, a qual apresentou o valor de 0,0096 m/dia.

O aquífero subjacente a zona insaturada na área do Max Domini II apresenta as seguinte características hidrogeológicas:

- tipo de aquífero: livre
- profundidade do topo do aquífero: a partir de 7,07 m
- profundidade média da base do aquífero: 18,70 m
- espessura do aquífero: 12,50 m
- nível hidrostático: de 7,30 m a 4,20 m
- gradiente hidráulico: 0,012 ou 12,0 m/km.
- velocidade de fluxo: 0,0096 m/dia
- velocidade linear média: 0,944 m/dia
- porosidade específica: 0,22
- transmissividade:  $T = 10 \text{ m}^2/\text{dia}$
- coeficiente de armazenamento:  $S = 0,22$
- condutividade hidráulica:  $K = 0,8 \text{ m/dia}$ .

#### **4.3 - VULNERABILIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

A vulnerabilidade do aquífero subjacente à zona insaturada na área do Max Domini II está relacionada à inacessibilidade hidráulica para a penetração de contaminantes e à capacidade de atenuação dos estratos acima do aquífero.

As camadas de argila arenosa amarela e de argila variegadas situadas na parte superior do terreno fazem parte da zona insaturada, a qual tem grande capacidade de atenuação de compostos químicos, biodegradação da matéria orgânica e eliminação de micro-organismos. Essas camadas apresentam permeabilidade muito baixa atuando como barreira impermeável para o deslocamento de contaminantes, como o necro-chorume.

Subjacente a essa camada de argila variegada há a presença de camadas de areia amarelada. Essa camada arenosa constitui um aquífero, do tipo livre, com seu fluxo tendo sentido de escoamento aproximado para norte e em uma pequena área ao fundo para sul.

A vulnerabilidade do aquífero captado apresenta índice menor que de 0,1 correspondendo ao grau de vulnerabilidade negligenciável no Sistema de Avaliação do Índice de Vulnerabilidade de Foster e Hirata (FOSTER & HIRATA, 1988), o qual tem variação de 0 a 1, com graus de vulnerabilidade negligenciável, baixo, moderado, alto e extremo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE). 1996. *Ensaio de permeabilidade em solos*. Boletim 04.
- ARAÍ, M.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, C., R.; GÓES, A, M.; ROSSETTI, D., F.; 1992. *Novos Dados sobre a Estratigrafia e Ambiente Depositional dos Sedimentos Barreira, NE do Pará*. Anais do IV Simp. de Geol. da Amazônia, SBG, Belém, 3 p.
- DNMET; 1992. *Normas Climatológicas (1961- 1990)*. DNMET, Brasília, 84 p.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. 1988. *Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data*. Lima. CEPIS-OPIS-OMM. 81 p.
- GEIPOT; 1978. *Acesso Viário ao Novo Porto do Pará – Sondagens das Travessias*. GEIPOT, Belém, 36 p.
- OLIVEIRA, W. de; 1996. *Estudo de Viabilidade Geológica para Implantação de Cemitérios*. PETEM, Belém 3 p.
- SILVA, O., F.; LOWENSTEIN, P.; 1968. *Contribuição à Geologia da Folha de São Luiz (SA-23) no Estado do Pará*. MPEG, Bol. n. 13, Belém, p 1-17.
- SUDAM; 1984. *Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira*. SUDAM, PHCA, Belém, 125 p.
- TANCREDI, A., C., F., N., S.; TAGLIARINI, E., M; 2001. *Cemitério Max Domini II – Relatório Hidrogeológico*, Mimiog, Belém, Rel., 27 p.