**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PERÍMETROS DE PROTEÇÃO PARA FONTES NATURAIS DE
ÁGUAS MINERAIS**

VIRGINIA MARIA TEZZONI COELHO

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Uriel Duarte
Examinadores:	Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt
	Prof. Dr. Fabio Taioli

**SÃO PAULO
2000**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PERÍMETROS DE PROTEÇÃO PARA FONTES NATURAIS DE
ÁGUAS MINERAIS**

DEDALUS - Acervo - IGC

309000006298

Virginia Maria Tezzoni Coelho

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO

2000

*À minha família,
pelo incentivo durante a realização deste
trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Uriel Duarte pela orientação e dedicação sempre presentes durante a elaboração deste trabalho;

À amiga Silvia Maria Ferreira pelas sugestões e auxílio na área de informática;

Ao colega Pedro Carlos Pociotti pela eficiente ajuda na elaboração final dos mapas;

Ao Curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pela infraestrutura colocada à disposição;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo auxílio financeiro;

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Lista de Figuras.....	v
Lista de Tabelas.....	vi
Lista de Quadros.....	vii
Resumo.....	ix
Abstract.....	x
 1. INTRODUÇÃO.....	 1
OBJETIVO.....	2
 2. POLUIÇÃO E CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	 3
2.1 – Vulnerabilidade de aquíferos.....	3
2.2 – Aspectos comportamentais da poluição/contaminação.....	4
 3. LEGISLAÇÃO SOBRE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO.....	 10
3.1 – Internacional.....	10
3.2 – Nacional.....	17
3.2.1 – Legislação nacional.....	17
3.2.2 – Legislação no Estado de São Paulo.....	20
 4. ESTUDO DE CASOS.....	 22
 5. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DO PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE FONTES NATURAIS.....	 25
5.1 – Procedimentos de campo.....	25
5.1.1 – Mapeamento hidrogeológico de detalhe.....	25
5.1.2 – Amostragem.....	26
5.2 – Procedimentos laboratoriais.....	26

5.3 – Procedimentos de escritório	29
6. ÁREAS ESTUDADAS	31
6.1 – Área I	31
6.1.1 – Resultados laboratoriais e cálculos para a delimitação dos perímetros de proteção (Área I)	38
6.1.2. – Análise dos resultados (Área I)	43
6.2 – Área II	44
6.2.1 – Resultados laboratoriais e cálculos para a delimitação dos perímetros de proteção (Área II)	49
6.2.2 – Análise dos resultados (Área II)	54
6.3 – Área III	55
6.3.1 – Resultados laboratoriais e cálculos para a delimitação dos perímetros de proteção (Área III)	63
6.3.2 – Análise dos Resultados (Área III)	68
7. CONCLUSÕES	69
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

ANEXOS

ANEXO I – Portaria DNPM nº231/1998

ANEXO II – Fichas laboratoriais contendo os resultados granulométricos das amostras
de solo das três áreas de estudo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização dos Municípios de Piedade e Cotia, no Estado de São Paulo, referente às Áreas de estudo I e II respectivamente.	32
Figura 2	Pluviômetro tipo "Ville de Paris"	34
Figura 3	Gráfico comparativo ilustrando a influência pluviométrica nas vazões da fonte (Área I).....	35
Figura 4	Diagrama Triangular de Shepard classificando as amostras de solo da Área I.....	39
Figura 5	Aspecto geral da casa de proteção no local da fonte, de acordo com as especificações legais e respectiva Zona Imediata delimitada pela cerca de tela (Áreal)	41
Figura 6	Gráfico comparativo ilustrando a influência pluviométrica nas vazões da fonte (Área II).....	47
Figura 7	Diagrama Triangular de Shepard classificando as amostras de solo da Área II.....	50
Figura 8	Aspecto geral da casa de proteção no local da fonte, de acordo com as especificações legais (Área II). Observa-se nesta foto que a cerca de tela que define a Zona Imediata ainda não havia sido construída	52
Figura 9	Localização do Município de Itaquiraí, no Estado de Mato Grosso do Sul, referente à Área III de estudo.....	56

Figura 10	Gráfico comparativo ilustrando a influência pluviométrica nas vazões das fontes (Área III)	60
Figura 11	Diagrama Triangular de Shepard classificando as amostras de solo da Área III	64
Figura 12	Aspecto geral da casa de proteção no local de uma das fontes, de acordo com as especificações legais e respectiva Zona Imediata delimitada pela cerca de tela (Área III)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Profundidades e tempos estabelecidos durante o procedimento do método da pipetagem.....	28
Tabela 2	Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados (Fetter, 1988).....	29
Tabela 3	Dados médios mensais de pluviometria e vazão da fonte (Área I).....	35
Tabela 4	Características químicas e físico-químicas da água na fonte (Área I).....	37
Tabela 5	Distribuição das frações granulométricas nos pontos analisados da Área I e respectiva classificação textural , segundo Shepard.....	39
Tabela 6	Dados médios mensais de pluviometria e vazão da fonte (Área II).....	47
Tabela 7	Características químicas e físico-químicas da água na fonte (Área II).....	48

Tabela 8	Distribuição das frações granulométricas nos pontos analisados da Área II e respectiva classificação textural, segundo Shepard.....	50
Tabela 9	Dados médios mensais de pluviometria e vazão das fontes (Área III)	60
Tabela 10	Características químicas e físico-químicas da água nas fontes (Área III).....	62
Tabela 11	Distribuição das frações granulométricas nos pontos analisados da Área III e respectiva classificação textural, segundo Shepard.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Resumo de alguns estudos realizados com recarga artificial de aquíferos, para verificação do fator de decaimento de vírus e bactérias patogênicas.....	9
Quadro 2	Resumo dos perímetros de proteção de captações em diferentes países (Waegeningh, 1985), (USEPA, 1987), (DNPM, Portaria nº231/1998) e (Lei Estadual nº 6137/88-SP).....	21
Quadro 3	Resultados laboratoriais de granulometria (Área I).....	38
Quadro 4	Faixa de valores obtidos para permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica (Área I).	40
Quadro 5	Resultados laboratoriais de granulometria (Área II).....	49
Quadro 6	Faixa de valores obtidos para permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica (Área II).	51

Quadro 7	Resultados laboratoriais de granulometria (Área III).....	63
Quadro 8	Faixa de valores obtidos para permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica (Área III).	65

RESUMO

O presente trabalho aborda a questão dos perímetros de proteção que devem ser definidos e instalados ao redor das captações ligadas à produção de águas minerais, quer sejam fontes naturais ou poços profundos, de acordo com a legislação atual.

Aqui é descrita e aplicada uma metodologia para definição destes perímetros, baseada na condutividade hidráulica do meio poroso e no decaimento bacteriológico, em função do tempo de trânsito do contaminante neste meio.

De acordo com esta metodologia, proposta para fontes naturais de água mineral, são calculados e delineados três perímetros, ou seja: Zona Imediata (distância obrigatória que independe da geologia, fixada em 10 metros), Zona Próxima (preferencialmente para proteção de contaminação bacteriológica) e Zona Afastada (limite da área de recarga).

Esta metodologia, baseada em dados reais do meio poroso, mostrou ser de fácil aplicação e compreensão nos três contextos geológicos pesquisados, tendo sido já aceita pelos técnicos de nosso setor governamental, responsáveis pela análise dos relatórios de pesquisa mineral.

ABSTRACT

The present thesis covers the problem to delineate protection areas around both natural sources and wellheads that produce mineral waters, according the present legal concerns.

A methodology to define such perimeters is described and applied. It is based on the hydraulic conductivity of the porous medium and bacteriological decay as function of the contaminant transit time in the medium.

According the methodology here proposed for natural sources of mineral water, three perimeters are calculated and delineated: Immediate Zone (obligatory zone, independent of the geology and fixed to 10 meters); Near Zone (preferentially for bacteriological contamination protection) and Far Zone (Border of the recharge area).

That methodology, based on porous medium real data, showed to of easy application and understanding in the three geological situations tested. It was also accepted by the governmental agencies responsible by the evaluation of the reports for mineral exploration.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da importância da água subterrânea como insumo básico para o abastecimento público e para a indústria, a hidrogeologia como ciência precisa de investimentos para aprofundar o nível de conhecimento técnico-científico que possibilite avanços na exploração, aproveitamento e proteção do recurso. A atividade de captação e exploração de água subterrânea depende de dispositivos institucionais que disciplinem, controlem ou fiscalizem o seu exercício, pois a falta desses instrumentos legais coloca em risco a qualidade dos aquíferos e estes, uma vez poluídos e/ou contaminados, sua recuperação é de longa duração, tecnicamente difícil e economicamente inviável. Assim, recentemente, foram instituídas portarias e leis, ligadas à produção de águas minerais, que devido ao seu crescente consumo, não mais se restringe à captações de fontes naturais, sendo agora produzidas em igualdade de volume por poços profundos localizados em áreas favoráveis, levando-se em consideração a economia de transporte entre produtor e consumidor e a qualidade físico-química-bacteriológica das águas comercializadas.

Como resultado do conjunto de medidas destinadas à preservação da qualidade dessas águas em relação aos aspectos químicos, físicos e bacteriológicos, foram instituídos por portaria do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, os denominados Perímetros de Proteção, que devem ser definidos e instalados ao redor das captações, quer sejam fontes naturais ou poços profundos.

Analisando a Portaria-DNPM nº 231/98 e o exemplo prático de sua aplicação no texto sobre “Áreas de proteção das fontes de água mineral da região de Lindóia, Águas de Lindóia e Serra Negra – São Paulo” (Mente & Cruz, 1998), notamos uma deficiência na utilização do modelo apresentado, quando relacionado a perímetros de proteção de fontes naturais.

A utilização de modelos matemáticos para definir perímetros de proteção é bastante eficiente em se tratando de poços bombeados, pelo fato de que estes apresentam o cone de rebaixamento no nível freático e seu limite determina o perímetro imediato de proteção ou, a denominada Zona de Influência prevista na legislação. Por outro lado, as fontes funcionam como um dreno, fluem naturalmente e não apresentam o cone de rebaixamento provocado pelo bombeamento. Neste caso,

podemos afirmar que a zona de influência de uma fonte natural abrange toda sua zona de recarga. Isto nos levou a idealizar uma proposta metodológica para delimitação de perímetros de proteção, exclusiva às captações de água por fontes naturais.

Diversos experimentos já foram realizados utilizando o critério de tempo de trânsito da água no subsolo como método para eliminação de vírus e bactérias patogênicas, obtendo resultados melhores e mais confiáveis, por estar diretamente relacionado com as características hidrodinâmicas do solo, do que o critério das distâncias mínimas, que independe desse fator. Todavia, o cálculo do tempo de trânsito mínimo, em alguns casos, pode não dar uma garantia suficiente, sendo então necessário, o conhecimento das características dispersivas do meio, que podem ser facilmente identificáveis em meios heterogêneos e em rochas fraturadas. O caráter saturado ou não do solo, seu potencial redox, temperatura, granulometria ou fraturamento, capacidade de absorção, existência de nutrientes, inibidores e produtores da atividade biológica, são fatores importantes que não podem ser desconsiderados.

Neste trabalho é apresentado uma metodologia de fácil aplicação para delimitação de perímetros de proteção de acordo com a Portaria DNPM nº231/98 embasada nas características hidrodinâmicas da porção não saturada do solo e, principalmente, em bibliografia científica atualizada sobre pesquisas que constataram o tempo de decaimento bacteriológico quando se introduz esse contaminante em zonas experimentais.

Assim, utilizando-se dos conceitos básicos de condutividade hidráulica e tempo de decaimento bacteriológico, podemos calcular distâncias mínimas, com grande segurança, que impossibilitam a contaminação bacteriológica das águas de uma fonte natural que, invariavelmente, tem sua vazão acrescida pela recarga natural de seu entorno.

OBJETIVO

Constitui objetivo do presente estudo, estabelecer um método prático e de fácil entendimento, com resultados compatíveis com as metodologias utilizadas atualmente para delimitação de perímetros de proteção de poços, porém voltada, exclusivamente, para fontes ou nascentes onde as águas afloram naturalmente na superfície.

2. POLUIÇÃO E CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As mudanças da qualidade das águas subterrâneas podem ser causadas direta ou indiretamente por diversas atividades do homem. *Influências diretas*, resultam de substâncias naturais ou artificiais que são introduzidas no ciclo geoquímico da Terra pelo homem e, finalmente, alcançam as águas subterrâneas. *Influências indiretas*, são as mudanças de qualidade causadas sem a interferência do homem, ou seja, àquelas que ocorrem devido a processos químicos, físicos e biológicos naturais. Assim, qualquer alteração na qualidade da água subterrânea de origem antrópica no sistema aquífero, é denominada **poluição** e quando esta alteração ou degradação da qualidade natural das águas subterrâneas atinge níveis que podem afetar, de forma prejudicial, a saúde humana e dos animais que a consomem, é denominada **contaminação**.

A urbanização, a industrialização, as práticas agrícolas e a extração mineral são as principais atividades humanas que geram resíduos. Estes, quando lançados no solo, rios e/ou atmosfera, transformam-se em fontes potenciais de poluição e/ou contaminação das águas subterrâneas. Na identificação destas fontes potenciais de poluição, é de importância fundamental classificá-las, de acordo com o grau de extensão, em **pontuais** (de pequena escala e facilmente identificáveis) e **difusas** (relativamente dispersas, atingem grandes superfícies e originam-se de outras fontes menores cujas localizações não são bem definidas).

A evolução e o tempo de duração dessas fontes poluentes podem transformá-las em permanentes, quando altas concentrações localizadas estratificam-se no aquífero e, intermitentes, quando ocorre uma estratificação regionalizada, provocando uma mistura poluída ou não no aquífero.

2.1 – Vulnerabilidade de aquíferos

As diferentes definições adotadas para o termo vulnerabilidade podem gerar algumas confusões. Duarte (1980), descreve vulnerabilidade de aquíferos à poluição como a integração entre diferentes fatores físicos e estáveis de ordem hidrogeológica que determina a situação em que se encontra o aquífero em suas condições naturais, mais ou menos exposto à poluição a partir da superfície do solo. Segundo Foster &

Hirata (1991), a vulnerabilidade natural de um aquífero é o reflexo de suas características intrínsecas. Para Foster & Adams (1992), a vulnerabilidade natural é a dificuldade hidráulica de um contaminante atingir a zona saturada e a capacidade de atenuação da zona insaturada. Rebouças (1994), define vulnerabilidade como função das características de porosidade/permeabilidade, tempo de trânsito e capacidade de atenuação físico-bio-química do meio aquífero. Portanto, uma definição básica para a vulnerabilidade de um aquífero é dada pelo maior ou menor grau de acessibilidade que este apresenta a uma fonte de poluição/contaminação e, o risco potencial dessa contaminação depende exclusivamente de fatores *intrínsecos* do sistema aquífero (características naturais do aquífero que definem a acessibilidade e a capacidade de atenuação do contaminante).

A carga contaminante pode ser controlada ou modificada, conforme suas características, em função da classe, intensidade, modo de disposição e duração, enquanto que a vulnerabilidade do sistema aquífero não pode ser alterada, pois depende exclusivamente da litologia e das características hidrogeológicas da área.

A água subterrânea sempre estará de algum modo sujeita a riscos de contaminação por ações do homem pois, não existem solos ou rochas completamente impermeáveis que possam evitar a contaminação. Carbonell et al. (1993) resumem da seguinte forma:

- Toda água subterrânea é vulnerável.
- Toda avaliação de vulnerabilidade é inerentemente incerta.
- O que é óbvio pode mascarar-se e o que é sutil, ficar imperceptível.

2.2 – Aspectos comportamentais da poluição/contaminação

Existem diversos perfis naturais de solo que ativamente degradam alguns poluentes até atingirem a água subterrânea, porém nem todos. Esta noção de solo depurativo levou à prática comum da disposição segura de excretos humanos e águas residuais domésticas sobre o solo. Os processos de degradação continuam em maior profundidade, embora em menor grau, especialmente onde hajam sedimentos não consolidados subjacentes. São os diversos processos hidrogeológicos,

hidrogeoquímicos e bioquímicos em subsuperfície que controlam o tipo, extensão e duração das influências da atividade antrópica nas águas subterrâneas.

Como os perfis do solo e as condições hidrogeológicas diferenciam-se de uma região para outra, o caráter efetivo para atenuar os poluentes também é variável. Portanto, o maior grau de atenuação depende muito dos tipos e modo de disposição, além da intensidade e duração dos fatores de poluição.

No caso de aquíferos freáticos, sobretudo nos lugares onde a zona insaturada é pouco espessa e o nível freático se encontra próximo à superfície, há uma preocupação maior com a poluição das águas subterrâneas.

Os aquíferos mais profundos e/ou altamente confinados, encontram-se relativamente melhor protegidos das fontes de poluição localizadas na superfície, à exceção de elementos poluentes muito persistentes e que envolvam longo tempo de trânsito no sistema aquífero.

Segundo Jimena (1986), a circulação da água pelo solo é indicada como um bom método para eliminação de vírus e bactérias patogênicas e, para que isso ocorra, é necessário um tempo de trânsito mínimo de 30 a 60 dias. Geralmente, adota-se 60 dias como tempo mínimo, mas existe uma forte tendência em aumentar esse tempo para 90 dias ou mais.

A circulação da água através de fraturas e porosidade, quando percorridos 300 metros, tem determinado reduções na quantidade de *Escherichia coli* e estreptococos fecais numa ordem de 10^4 , com eliminação total de vírus, cuja redução ocorre logo na infiltração, numa ordem de 10^3 . Não obstante, os resultados mostram uma grande dispersão em função do tempo de trânsito da água e da presença de cloro residual (Baxter & Edworthy, 1979).

No estudo realizado no SE da Inglaterra, a redução das quantidades bacterianas foi atribuída preferencialmente, ao efeito de diluição. Por outro lado, em zonas próximas, bastaram 8m de percolação em areia fina para se obter reduções superiores a 10^4 de bactérias patogênicas e vírus (Edworthy & Downing, 1979). Outros exemplos são menos favoráveis, citando-se sobrevivências superiores a 100 dias (Kaddu-Mulindwa et al., 1983); percursos de coliformes de até 840 metros e a existência de vírus tipo pólio até 30 metros de profundidade, à distâncias de 180 metros de área de infiltração de águas residuais (Yaruz & Haridas, 1984).

Os 42% das enfermidades de veiculação hídrica surgidas nos Estados Unidos entre 1971 e 1979 podem ser atribuídas à contaminação das águas subterrâneas (Yaruz & Haridas, 1984).

As enfermidades típicas de veiculação pelas águas subterrâneas são as febres tifóides, as gastroenterites e as enfermidades gastrointestinais, a diarreia e a hepatite virótica.

A movimentação dos microorganismos patogênicos é favorecida por um excesso de matéria orgânica solúvel (contaminação) e também pela presença de detergentes.

Na Holanda, através das práticas de recarga em dunas, verificou-se que, com apenas uma semana de tempo de trânsito da água no subsolo, conseguiu-se uma boa eliminação de vírus e bactérias, inclusive os coliformes, mas para assegurar uma eliminação completa foram necessários dois meses de circulação subterrânea (Puffelen, 1979). No processo de recarga das dunas, em Israel, a eliminação foi total aos 100 dias (Shelef, 1979).

Em geral, a eliminação de vírus e bactérias patogênicas é maior e mais rápida no solo e em meio não saturado (Berend, 1970), (Loeffler et al., 1973), (Romero, 1970) e, sob este aspecto, é importante que o nível freático seja profundo, impossibilitando assim, a introdução direta de águas contaminadas no aquífero. Em alguns casos, basta um percurso de poucos metros em areia para reduzir o número de coliformes num fator de 100 vezes. Em Orange, na Califórnia, verificou-se que em areia, alguns coliformes e estreptococos fecais, podem chegar a 30 metros de distância dos poços de recarga (Baier & Wesher, 1971), (Brown et al., 1978).

Na Inglaterra, estudos com lisímetros mostraram que um percurso de 10 metros elimina bactérias patogênicas, enquanto que os vírus, em apenas 2,5 metros de percurso. Por outro lado, em áreas de infiltração de efluente secundário sobre greta, no vale do Lee (Inglaterra), a eliminação de vírus ocorre em 335 metros e a *Escherichia coli* e o *Streptococo fecal* precisam de uma distância de 2 quilômetros (Baxter & Edworthy, 1979). Cita-se que sob os pântanos de Poznan (Polônia), em meio saturado, os coliformes penetram até 50 centímetros, depois desaparecem rapidamente e voltam a aparecer abaixo de 1 metros, quando o meio já é totalmente anaeróbio (Blaszyk & Pawwka, 1972). Analogamente, este tipo de penetração é observada para algas azuis, verdes, nematodos, infusórios, flagelados e rotíferos.

A introdução direta de água em um aquífero de granulometria grosseira é pouco recomendada quando se deseja uma depuração biológica. Neste caso, é necessário prever um pré e um pós tratamento de água apropriado, uma vez que a eliminação dos microorganismos possa ser insuficiente. Em um poço de recarga no rio Besós (Barcelona, Espanha), em cascalho grosseiro e cascalho fino, foi observado a ocorrência da propagação de larvas de insetos através do aquífero, que atingiram um poço de bombeamento situado a cerca de 60 metros de distância, com um tempo de trânsito mínimo da água estimado em 1 hora, porém, as bactérias fecais não foram detectadas em virtude da pré-cloração efetuada (Custodio et al, 1977), (Custodio & Vilaro, 1976).

Na Alemanha, em várias instalações de recarga artificial, também foi observado um tempo de trânsito da água no subsolo muito curto, variando de 12 horas a vários dias, por isso, parte da depuração biológica foi conseguida através de pré e pós tratamento. Assim, o meio subterrâneo, em geral, mantém-se aeróbio. Quando forem detectados coliformes em água captada a uma certa distância ou após um tempo de trânsito suficientemente seguro, isto não implica em indicação de contaminação fecal, uma vez que tais coliformes estão presentes na natureza, porém, nestes casos, é necessário a realização de um teste específico para microorganismos fecais (Frank, 1979).

A atividade biológica e a retenção da água em superfície (tanques e lagoas) exercem um grande papel na eliminação de bactérias. Anon (1979), verificou que 96 horas de retenção da água em superfície, reduz o vírus da pólio tipo 3, na ordem de 1000 vezes, enquanto que, após a circulação nos 0,6 metros a 0,9 metros de solo fino, os coliformes e outros microorganismos são reduzidos na ordem de 10 a 30 vezes, porém, quando em solos grosseiros, apenas se modificam.

A melhor eliminação de vírus é conseguida em pH variando entre 7 e 7,5 (Drenray & Eliassen, 1968). Lance et al. (1976), verificaram que ao utilizar 2,5 metros de areia calcária, com 11% de lodo e argila, a eliminação de vírus é dada na ordem de 1000 vezes. Os crescimentos orgânicos na superfície de infiltração são muito efetivos na retenção bacteriana, tanto em poços como em charcos (Rebhun & Schwarz, 1968).

Nos charcos de Eigulais, na Lituânia, verificou-se que ao duplicar a espessura da camada de sedimentos, a capacidade de purificação multiplicou-se por 10 (N.U., 1977).

Em Phoenix (Arizona), após 91 metros de percurso, o número de colís fecais reduziu-se numa ordem acima de 10^3 , chegando até 10^6 . A maior eliminação corresponde ao primeiro metro do solo (Gould, 1971).

Em Israel, foram observadas reduções na ordem de 10^5 e na Holanda, com dois meses de tempo de trânsito no subsolo, a eliminação de vírus e bactérias foi total, permitindo até a distribuição da água sem cloração prévia (Puffelen, 1979).

O deslocamento de bactérias e vírus no subsolo é mais lento que o da água e, o dos vírus, mais lento que o das bactérias. A diferença dos vírus para as bactérias é que estes não se reproduzem e nem se proliferam no aquífero, pois para isto, necessitam de uma célula hospedeira.

No entanto, é provável que o aumento da velocidade de fluxo criado pelas captações próximas à área de recarga artificial, possa aumentar o alcance das bactérias e vírus.

É comum encontrar nos poços de recarga, ao serem bombeados durante alguns minutos, um elevado número de coliformes. Estudos realizados em Israel com recarga de água potável, mostraram que não ocorreu bactérias do tipo *Escherichia coli*, apenas *E. Freundii* e, às vezes, *Aerobacter aerogenes*, as quais não são de origem fecal e sim, resultado do crescimento bacteriano na superfície da entrada de água no poço e em seu entorno.

No período que antecede o início do bombeamento, observa-se uma proliferação bacteriana, e este fato está associado ao período de repouso do bombeamento, uma vez que durante a recarga, a lavagem contínua pelo fluxo de água e as presenças de O_2 e Cl_2 impedem os crescimentos. Portanto, quanto maior for a espera para o início do bombeamento, maior será a proliferação bacteriana, cujo decaimento ocorrerá ao término de um ou dois meses, quando os nutrientes e a matéria orgânica serão eliminados pela lavagem contínua. Observações semelhantes foram realizadas em um poço de recarga de água residual tratada, em Long Island (New York), (Vecchioli, 1970).

O Quadro 1, mostra um resumo destes estudos realizados com recarga artificial de aquíferos para a verificação do fator de decaimento dos vírus e bactérias patogênicas, utilizando o tempo de trânsito da água no subsolo.

Autor	Local Pesquisado	Geologia	Distância/ Tempo de Trânsito	Fator de Decaimento	
				Vírus	Bactérias Patogênicas
Baxter & Edworthy, 1979		fraturas e porosidade	300m	Total	10^4
Edworthy & Downing, 1979	SE da Inglaterra	areia fina	8m	$> 10^4$	$> 10^4$
Kaddu-Mulindawa et al., 1983			100 dias	Parcial	Parcial
Puffelen, 1979	Holanda	dunas	60 dias	Total	Total
Shelef, 1979	Israel	dunas	100 dias	Total	Total
Baier & Wesher, 1971 Brow et al, 1978	Orange (California)	areia	30m	Parcial	Parcial
Baxter & Edworthy, 1979	Inglaterra		2,5 a 10,0m	Total	Total
Baxter & Edworthy, 1979	Vale do Lee (Inglaterra)	greta	335m a 2km	Total	Total
Custodio et al., 1977 Custodio & Vilaro, 1976	Barcelona (Espanha)	cascalho grosseiro e cascalho fino	60m (1h)		Total (após pré-cloração)
Frank, 1979	Alemanha		12h a vários dias	Total (após pré e pós-cloração)	Total (após pré e pós-cloração)
Gould, 1971	Phoenix (Arizona)		91m		10^3 a 10^6

Quadro 1 – Resumo de alguns estudos realizados com recarga artificial de aquíferos, para verificação do fator de decaimento de vírus e bactérias patogênicas.

3. LEGISLAÇÃO SOBRE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO

Ainda não são todos os países que possuem legislação estabelecendo perímetros de proteção em torno de captações de água subterrânea, porém, a preocupação em preservar os recursos hídricos é crescente e, vários países já os adotam como medida preventiva para manter a qualidade destas águas. As limitações e os critérios variam de um país para outro, contudo, existe um fator comum que é representado pela delimitação de áreas de primeira, segunda e terceira ordem, com contornos superficiais crescentes a partir da captação, nos quais as atividades humanas ficam sujeitas a restrições e controle numa proporção cada vez menos rigorosa a medida que se afasta do ponto de captação.

3.1 – Internacional

Examinando as legislações internacionais, Pacheco (1984), verificou que alguns países europeus e também os Estados Unidos da América do Norte, possuem leis relativas à captação de águas subterrâneas, fortemente apoiadas por órgãos institucionais que garantem sua aplicação. Estas leis determinam que sejam delimitados perímetros de proteção variados em torno das captações; que sejam criados órgãos financeiros que subsidiem os recursos necessários às obras de saneamento; e, que as diretrizes a serem seguidas sejam fixadas por instituições nacionais.

Destacou também que a legislação francesa é a mais adequada e precisa no que concerne à proteção da qualidade das águas subterrâneas. Em 1902, a lei já previa a instituição de perímetro de proteção contra a poluição ao redor das captações de água, enquanto que, somente a partir da década de 50 os países industrializados modificaram suas legislações para melhor combater a degradação de seus recursos hídricos, instituindo os perímetros de proteção.

Segundo Waegeningh (1985), os países europeus utilizam sistemas multidisciplinares para enfrentar o problema de proteção das águas subterrâneas, os quais, em alguns casos, são incorporados na legislação. É difícil comparar sistemas de

proteção em países diferentes, devido às circunstâncias sócio-econômicas e políticas de cada país. Entretanto, pode-se descrever, resumidamente, como estes países definem suas áreas de proteção, mostrando as variações em número de zonas (duas até quatro), em tamanhos (metros a quilômetros) e grau de proibições.

Na Ex-República Federal da Alemanha (Ex-Alemanha Ocidental), utilizam-se critérios importantes para dimensionar zonas de proteção, tais como o tempo de permanência da água no subsolo e a vulnerabilidade do aquífero. A seguir, estão discriminadas cada uma destas zonas que definem o perímetro de proteção de poços:

Zona I: 10 metros ao redor do poço, é destinada à preservação local da captação de fontes poluentes diretas, sendo proibido qualquer atividade não relacionada à captação de água.

Zona II: é a área que deve impedir a contaminação da água por elementos patogênicos e/ou químicos. Através de experimentos, comprovou-se que o tempo de trânsito médio para a eliminação de contaminantes de rápida degradação é de 50 dias. Nesta área, restringem-se práticas agrícolas e edificações.

Zona III: subdivide-se em **zona IIIA** (2 quilômetros) e **zona IIIB**, que juntas, protegem a área de recarga do aquífero através da monitoração de possíveis fontes de poluição potenciais existentes e futuras, longe o suficiente para permitir uma intervenção no caso de contaminação. Nesta área, restringe-se a implantação de indústrias, urbanização, estocagem de materiais que ofereçam riscos de contaminação tais como produtos químicos, gasolina, óleo e outros.

Na Ex-República Democrática da Alemanha (Ex-Alemanha Oriental) o procedimento é o mesmo quanto ao número de zonas de proteção e suas respectivas restrições, apresentando apenas algumas variações quanto às distâncias e tempos de trânsito.

Zona I: pode variar entre 5 e 10 metros ao redor da captação.

Zona II: é determinada pelo tempo de trânsito de 60 dias.

Zona III: também é subdividida em **zona IIIA** e **zona IIIB**, sendo definidas pelos tempos de trânsito de 10 anos e 25 anos respectivamente.

Na Suíça também adotam-se quatro áreas distintas para a definição de perímetros de proteção de poços, sendo:

Zona I: uma área que varia entre 10 e 20 metros ao redor do poço, com uso exclusivo para as instalações referentes à captação de água.

Zona II: é a área de proteção bacteriológica, sendo definida pelo tempo de trânsito de 10 dias que abrange uma área maior ou igual a 100 metros. Nesta área, não é permitido construir moradias e as práticas agrícolas estão restritas às culturas orgânicas, que não utilizam pesticidas e agrotóxicos.

Zona III: subdividi-se em:

Zona IIIA: com distâncias maiores ou iguais a 200 metros e,

Zona IIIB: representando a área mais afastada da captação. Nestas zonas, o uso e a ocupação do solo são restritos para permitir a proteção da área de recarga do sistema aquífero de fontes poluidoras provocadas por atividades impróprias, possivelmente causadoras de degradação da qualidade das suas águas.

O sistema de proteção na Holanda, teve sua base no sistema de proteção da Ex-Alemanha Ocidental. Com o tempo sofreu modificações, tendo atualmente como base, as condições técnico-econômicas do país, traduzidas para o tempo de trânsito da água subterrânea no aquífero. Seu perímetro de proteção de poços é definido pelas seguintes áreas:

Área de captação: é delimitada para prevenir contra contaminação de origem patogênica (vírus e bactérias) e/ou compostos químicos de rápida degradação, exigindo um tempo de trânsito de 50 a 60 dias para o decaimento de germes. Esta zona alcança uma área de 30 até 150 metros em relação ao poço.

Zona de proteção de 10 anos: é a área que deve excluir riscos à saúde pública e garantir o suprimento contínuo de água na captação; em muitos casos, até mesmo 10 anos não são suficientes para essa garantia.

Zona de proteção de 25 anos: é definida quando a zona de proteção de 10 anos não é suficiente e também, quando existem problemas econômicos associados, devido ao uso inadequado anteriormente estabelecido.

Estas zonas de 10 e 25 anos juntas são chamadas **Área de Proteção** que estendem-se por aproximadamente, 800 e 1200 metros dos poços, respectivamente.

Além das áreas de proteção definidas, a parte mais distante da área de recarga não é esquecida. Amparada legalmente, através de restrições relacionadas ao uso e ocupação do solo, ela visa proteger e garantir a qualidade da água subterrânea de qualquer poluição grave de caráter persistente.

Na França a legislação prevê três diferentes zonas de proteção para captações de água subterrânea:

Perímetro de proteção imediato: varia entre 10 e 20 metros e é destinado a interditar o acesso ao poço e às instalações adjacentes, tendo em vista a preservação das vizinhanças imediatas da captação de qualquer fonte de poluição.

Perímetro de proteção intermediário: pode estender-se de 200 a 500 metros a montante, no aquífero aluvial, de maneira a prevenir uma trajetória de 100 dias, para eliminação de bactérias, no caso de ocorrer uma contaminação de ordem bacteriológica (essencialmente de origem fecal). No interior desse perímetro podem ser interditadas ou regulamentadas, do ponto de vista de proteção das águas, atividades e instalações já existentes no local, preservando-se a vegetação nativa e as culturas que não utilizam produtos tóxicos de maneira intensiva.

Área de proteção afastada ou remota: engloba toda a área de recarga da captação quando esta não é muito extensa. No caso de um aquífero livre extenso, onde a zona de influência de uma captação pode estender-se a dezenas de quilômetros a montante, esta área fica limitada a uma distância fixada da ordem de 1 a 2 quilômetros em aquífero aluvial. Esta zona permite monitorar o conjunto ambiental da captação, pela instauração de uma regulamentação adequada para fontes de poluição potenciais e futuras, sobre uma distância grande o suficiente para permitir uma intervenção no caso de poluição, uma certa degradação e a diluição do poluente no aquífero, sem trazer danos à qualidade da água.

A Áustria prevê três zonas para definir perímetros de proteção:

Área de proteção imediata: representa a área próxima ao poço, não é permitido qualquer tipo de atividade não relacionada à captação de água.

Área de proteção de 50 dias: refere-se à proteção bacteriológica que restringe as práticas agrícolas e proíbe atividades industriais e urbanas.

Área de proteção parcial: é a mais distante da captação e, nesta área, o uso e ocupação do solo é controlado e regulamentado legalmente, de forma que fontes de poluição existentes e futuras sejam monitoradas e evitadas para não prejudicarem a qualidade da água subterrânea e, conseqüentemente, garantir a continuidade do abastecimento de água.

Na Bélgica, a legislação para perímetros de proteção é muito semelhante à francesa, variando apenas as distâncias ou tempos adotados para delimitação de cada zona:

Área de proteção imediata: é atribuída a uma distância de até 100 metros do poço ou 24 horas de tempo de trânsito da água no subsolo, onde é permitido apenas atividades referentes ao abastecimento de água.

Área de proteção intermediária: é aquela referente à proteção bacteriológica e, pode variar entre 300 e 1000 metros para um tempo de trânsito de 50 dias. Nesta área, ficam restritas as práticas agrícolas e proibido a urbanização e a implantação de indústrias.

Área de proteção remota: é destinada à preservação da qualidade das águas subterrâneas através de restrições legais quanto ao uso e ocupação do solo.

Na Finlândia, a legislação prevê três zonas para delimitar perímetros de proteção:

Área imediata: que é destinada à preservação do local do poço, não pode ser utilizada para atividades não relacionadas à captação.

Zona de proteção interna: determina um tempo de trânsito de 60 dias para a eliminação de contaminantes bacteriológicos. Para a preservação desta área, faz-se necessário restringir as práticas agrícolas e proibir a ocupação humana.

Zona de proteção externa: é regulamentada e fiscalizada pelo governo, procurando garantir a qualidade das águas subterrâneas e o abastecimento contínuo na captação. Esta zona, normalmente, abrange a área de recarga do aquífero restringindo determinadas atividades de uso e ocupação do solo, tais como implantação de indústrias químicas, estocagem de combustíveis, urbanização e outras.

A Ex-Tchecoslováquia, tal como alguns países citados anteriormente, possui sua legislação fundamentada em três zonas distintas para definir perímetros de proteção de poços:

Zona primária de proteção sanitária: abrange uma distância do poço de captação que varia entre 10 e 50 metros, corresponde à área mais próxima do poço e é exclusivamente reservada às atividades referentes ao abastecimento de água.

Zona secundária interna de proteção sanitária: é a área que permite uma efetiva proteção bacteriológica através do tempo de trânsito da água no subsolo.

Zona secundária externa de proteção sanitária: é a área mais distante do poço, atingindo a zona de recarga ou parte dela e, destina-se à proteção da qualidade da água, através de monitoração e fiscalização das atividades localizadas nessa área, com restrições à implantação de indústrias poluentes, à estocagem de materiais que possibilitem futuros riscos de poluição, à urbanização e aos transportes de produtos químicos e combustíveis em geral.

A Suécia apresenta em sua legislação, três áreas para definir perímetros de proteção de poços:

Área do poço: representa a proteção imediata à captação onde nenhuma atividade é permitida, exceto àquelas referentes ao abastecimento de água.

Área de proteção interna: é delimitada para prevenir contaminação bacteriológica, definindo uma distância maior ou igual a 100 metros ou, 60 dias de tempo de trânsito da água no subsolo. Esta área fica restrita à preservação da vegetação local e às atividades agrícolas que não usam defensivos químicos em suas culturas.

Área de proteção externa: procura manter a qualidade do recurso hídrico, através da monitoração e controle legal de fontes poluentes já existentes ou futuras, atribuindo restrições para novos implementos industriais e urbanos.

A legislação da Hungria define apenas duas zonas para perímetros de proteção de poços:

Zona de proteção: é a área que engloba desde a captação até a área referente a um tempo de trânsito de 50 dias. Nesta área as restrições são as mesmas já citadas

anteriormente. É uma área de preservação, portanto, proibida para atividades que possam comprometer a qualidade da água.

Área de proteção hidrogeológica: é definida pelo tempo de trânsito que varia entre 25 e 100 anos para uma proteção regional. Nesta área, há restrições para o uso e ocupação do solo.

Na Grã-Bretanha, as zonas de proteção não são estabelecidas por lei, mas, normalmente, a área de proteção imediata é dada em distâncias variando entre 10 e 50 metros ao redor da captação. A proteção sanitária das águas subterrâneas é conseguida através da viabilização de planos de desenvolvimento pré-fixados e de procedimentos para controle do meio ambiente, com prioridade em áreas de recarga de aquíferos. As classificações de vulnerabilidade são utilizadas como ferramentas nesses processos.

Nos Estados Unidos da América do Norte, em Marcelino (1999), o programa de delimitação de perímetros de proteção de poços, define a área ao redor de um poço em três partes principais, segundo suas características hidráulicas (USEPA, 1987):

Zona de influência ou remediação: relacionada ao cone de rebaixamento gerado na exploração do poço, é a área que permite detectar, controlar e remediar contaminantes antes que atinjam a captação.

Zona de transporte ou de atenuação: relacionada à zona de captura do poço (limite físico determinado pelas características intrínsecas do aquífero e do regime de bombeamento). É a área que permite a degradação natural de contaminantes, especialmente os agentes microbianos.

Zona de contribuição ou de gerenciamento: relacionada à zona de recarga, é a área que regulamenta o uso e ocupação do solo, evitando contaminantes persistentes e móveis.

Para definir e traçar estas zonas, foram adotados cinco critérios que podem ser utilizados separadamente ou combinados:

- a) **Distância** – fixa um raio em relação ao poço para delimitar o perímetro de proteção, independentemente de características intrínsecas e/ou extrínsecas do aquífero.
- b) **Rebaixamento** – compreende a área referente ao cone de rebaixamento induzido pelo bombeamento do poço, denomina-se zona de influência do bombeamento,

desaparecendo quando cessa o mesmo. Sua dimensão e forma depende das características do aquífero, da recarga e do regime de bombeamento.

- c) **Tempo de trânsito** – estabelece uma distância em relação ao poço determinada pelo tempo máximo que um contaminante leva para atingir um ponto de captação. Em geral, este tempo depende da velocidade do fluxo subterrâneo, quanto maior a velocidade, maior será a distância percorrida pelo contaminante e, conseqüentemente, maior será a área a ser protegida.
- d) **Fronteiras de fluxo** – utilizando as características hidrogeológicas regionais e os fatores que definem os fluxos subterrâneos tais como rios, lagos, canais, geomorfologia da área, mudanças de litotipos, divisores de água subterrânea, poços de injeção, bombeamento e outros, pode-se delimitar a área na qual a água subterrânea apresenta uma dinâmica que permite ao contaminante atingir o poço em qualquer condição.

Segundo Cleary (apud Marcelino 1999), por tender a delimitar grandes áreas (zona de contribuição total ou parcial), este critério é mais adequado a aquíferos pequenos, ou quando em grandes aquíferos, o poço situar-se próximo aos contornos (divergência das linhas de fluxo ou zona de contribuição).

- e) **Capacidade de assimilação** – é dada através da velocidade de atenuação do contaminante até atingir a captação. Este critério determina uma área que permite ao contaminante infiltrado no subsolo, diminuir sua concentração até níveis toleráveis permitidos pelas legislações locais.

3.2 – Nacional

3.2.1 – Legislação nacional

A legislação brasileira referente às águas subterrâneas é baseada no Código de Águas, criado pelo Decreto nº 24.643 de 10/07/1934, onde no Título IV – Capítulo único, o Artigo 96 dispõe: “O dono de qualquer terreno poderá apropriar-se por meio de poços, galerias etc. das águas que existam debaixo da superfície de seu prédio, contanto que não prejudique aproveitamentos existentes nem derive ou desvie de seu curso natural águas públicas dominicais, públicas de uso comum ou particulares.”

Os Artigos 97 a 101 dispõem sobre possíveis interferências entre poços vizinhos, poluição induzida por construções, punições em caso de violação e também, sobre concessões administrativas para poços em terrenos públicos.

Em 08/08/1945 o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), através do Decreto-Lei nº 7.841, editou o Código de Águas Minerais, que apresenta em seu Capítulo I, Artigo 1º, a definição para águas minerais: "...são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa."

No Artigo 3º do mesmo capítulo, encontra-se a definição para águas potáveis de mesa: "Serão denominadas águas potáveis de mesa as águas de composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que preencham tão-somente as condições de potabilidade para a região".

Para essas fontes naturais ou artificiais de captação de água subterrânea, o Capítulo III, Artigos 12 a 14, dispõem sobre *a possibilidade de demarcação de perímetros de proteção através de decreto e a utilização limitada dessa área que poderá ser feita somente com autorização prévia do DNPM, ficando sujeita à interdição caso algum empreendimento no local ofereça riscos à qualidade da água.*

Em 28/07/1997 a Portaria DNPM nº 222, aprova o Regulamento Técnico nº 001/97 que dispõe sobre as "Especificações Técnicas para o aproveitamento das Águas Minerais e Potáveis de Mesa", tendo em vista a necessidade de disciplinar e uniformizar os procedimentos a serem observados na fiscalização das concessões para aproveitamento das fontes de águas minerais e potáveis de mesa, em todo o território nacional.

Em 31/07/1998 a Portaria DNPM nº 231, atendendo ao que estabelece o Artigo nº 12 do Decreto-Lei nº 7.841/45 (Código de Águas Minerais), resolve que os titulares de Alvará de Pesquisa de água classificada como mineral ou potável de mesa, natural, devem apresentar a *área de proteção* de sua fonte, inclusa no Relatório Final dos Trabalhos de Pesquisa Os concessionários que ainda não dispõem de áreas de

proteção, deverão apresentá-las no prazo de 365 dias contados da data de publicação da referida portaria. E, para a definição dessas áreas de proteção, a Portaria aprova uma metodologia de estudos geológicos e hidrogeológicos detalhados, a fim de se conhecer e definir as condições de ocorrência das fontes, identificar possíveis riscos de contaminação e verificar o grau de vulnerabilidade do aquífero, conforme especificações contidas na respectiva Portaria, a qual pode ser obtida através do endereço eletrônico <http://www.dnpm.gov.br/P231-98html>.

Para a definição de perímetros de proteção a portaria estabelece três diferentes zonas, segundo suas características hidráulicas:

Zona de Influência: é a área referente ao cone de depressão (rebaixamento da superfície potenciométrica) de um poço em bombeamento ou de uma fonte ou nascente natural, considerado aqui como um afloramento da superfície freática, equivalente a um dreno. Está associada ao perímetro imediato de proteção e suas dimensões serão estabelecidas segundo suas características hidrogeológicas e grau de vulnerabilidade ou risco de contaminação de curto prazo. Nesta área serão permitidas apenas atividades referentes à exploração das águas do poço ou fonte.

Zona de Contribuição: é a área de recarga associada ao ponto de captação (fonte ou poço), delimitada pelas linhas de fluxo que convergem a este ponto.

Zona de Transporte: é a área localizada entre a área de recarga e o ponto de captação. É esta zona que determina o tempo de trânsito que um contaminante leva para atingir um ponto de captação desde a área de recarga. Em geral, este tempo depende da distância do percurso ou fluxo subterrâneo, das características hidráulicas do meio aquífero e dos gradientes hidráulicos.

As zonas de contribuição e transporte juntas, estabelecem uma segura proteção para contaminantes mais persistentes, tais como produtos químicos industriais ou outras substâncias tóxicas. Suas dimensões serão baseadas em função das atividades, níveis e intensidade de ocupação e utilização da terra e das estimativas sobre o tempo de trânsito.

3.2.2 – Legislação no Estado de São Paulo

A Lei Estadual nº 6.134 de 02/06/1988, regulamentada pelo Decreto nº 32.955 de 07/02/1991, dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo através de programa permanente de conservação e proteção que visa seu melhor aproveitamento.

O Artigo 20 deste Decreto, apresenta a classificação das áreas de proteção:

- “I – *Área de Proteção Máxima*: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituam depósitos de águas essenciais para abastecimento público.
- II – *Área de Restrição e Controle*: caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras.
- III – *Área de Proteção de Poços e outras Captações*: incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo perímetro de proteção.”

Na Seção V, os Artigos 24 e 25, estabelecem que nas áreas de proteção de poços e outras captações, deverá ser instituído o *Perímetro Imediato de Proteção Sanitária* (10 metros de raio a partir do ponto de captação), cercado e protegido com telas e o *Perímetro de Alerta Contra Poluição*, uma distância equivalente ao tempo de trânsito de 50 dias, coaxial ao sentido do fluxo das águas subterrâneas.

Verifica-se, entretanto, que apesar da legislação do Estado de São Paulo estabelecer critérios para a preservação de seus recursos hídricos, ela não define claramente perímetros de proteção para captações de água por fontes e nascentes naturais.

A seguir, o Quadro 2 mostra resumidamente, as diferentes áreas de perímetros de proteção de captações de água, referentes aos países citados anteriormente e também, no Estado de São Paulo, segundo suas respectivas legislações. Os dados em dias referem-se ao tempo de trânsito de poluentes, desde sua entrada no solo até o ponto de captação.

PAÍS	PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE CAPTAÇÕES			
Ex-Alemanha Ocidental	zona I 10m	zona II 50 dias	zona IIIA 2km	zona IIIB
Ex-Alemanha Oriental	zona I 5 a 10m	zona II 60 dias	zona IIIA 10 anos	zona IIIB 25 anos
Suíça	zona I 10 a 20m	zona II ≥10 dias ou ≥100m	zona IIIA ≥200m	
Holanda	área de captação 50 a 60 dias ou 30 a 150m	zona de proteção 10 anos ou 800m	zona de proteção 25 anos ou 1200m	
França	perímetro de proteção imediato 10 a 20m	perímetro de prot. intermediário 100 dias ou 200 a 500m	perímetro de proteção afastado 1 a 2km	
Áustria	área de proteção imediata	área de proteção 50 dias	área de proteção parcial	
Bélgica	área de proteção imediata 24h ou 100m	área de proteção intermediária 50 dias ou 300 a 1000m	área de proteção remota	
Finlândia	área imediata	zona de proteção interna 60 dias	zona de proteção externa	
Ex-Tchecoslováquia	zona primária de proteção sanitária 10 a 50m	zona secundária interna de proteção sanitária	zona secundária externa de proteção sanitária	
Suécia	área do poço	área de proteção interna 60 dias ou 100m	área de proteção externa	
Hungria	zona de proteção 50 dias	área de proteção hidrogeológica 25 a 100 anos		
Grã-Bretanha	área de proteção imediata 10 a 50m			
Estados Unidos da América do Norte	zona de influência ou remediação	zona de transporte ou atenuação	zona de contribuição ou gerenciamento	
Brasil	zona de influência	zona de transporte	zona de contribuição	
Brasil Estado de São Paulo	área de proteção de poços e outras captações		área de restrição e controle	área de proteção máxima
	perímetro imediato de prot. sanitária 10m	perímetro de alerta contra poluição 50 dias		

Quadro 2 – Resumo sobre perímetros de proteção de captações em diferentes países (Waegeningh, 1985), (USEPA,1987), (DNPM, Portaria nº 231/1998) e (Lei Estadual nº 6137/88-SP).

4. ESTUDO DE CASOS

Iritani (1998), mostrou a viabilidade da aplicação de modelagem matemática tridimensional para a delimitação das zonas de contribuição das captações de água subterrânea, como metodologia para a definição dos perímetros de proteção de poços, tendo como área de estudo, o município de Caçapava que representa uma das áreas críticas do Estado de São Paulo, do ponto de vista do risco de contaminação das águas subterrâneas.

A metodologia utilizada neste trabalho foi, exclusivamente, embasada na interpretação de dados existentes em vários órgãos e empresas, que foram reunidos e organizados para a construção do modelo conceitual da área, a determinação da condutividade hidráulica e a avaliação do comportamento do fluxo da água subterrânea, para posteriormente, realizar a construção do modelo matemático tridimensional.

Os resultados obtidos comprovaram a viabilidade da aplicação da modelação matemática tridimensional para a determinação da zona de contribuição das captações de água subterrânea e, para o processo de delimitação de perímetro de proteção de poços, auxiliando também, no gerenciamento geral dos recursos hídricos subterrâneos. Porém, algumas limitações do modelo matemático desenvolvido devem ser levadas em consideração quando da análise dos resultados, pois trata-se da utilização de dados já existentes que foram gerados em atividades não direcionadas à modelagem matemática, sendo muitas vezes, necessário estimar e relacionar os dados para posterior utilização.

O processo da modelação matemática implica em limitações inerentes à impossibilidade de uma representação fiel do sistema físico real, portanto, na modelação matemática, quanto maior o número de dados levantados, melhor será o detalhamento e a caracterização do modelo construído.

Marcelino (1999), utilizou a técnica de modelagem numérica tridimensional para a delimitação dos perímetros de proteção dos poços tubulares profundos existentes na Cidade Universitária (USP), Campus "Armando Salles de Oliveira", que exploram o sistema aquífero sedimentar local e, também, para verificar se o Rio Pinheiros, o

Córrego Jaguaré e o Córrego Pirajussara exercem influência na qualidade das águas subterrâneas devido à inversão dos fluxos subterrâneos pela operação dos poços.

Neste estudo, para efetuar a calibração e a validação do modelo, utilizou-se dados de vazão definidos pelo ensaio de bombeamento efetuado na época da construção dos poços e, também, os dados coletados em campo nos poços de monitoração ainda operantes.

Através dos resultados obtidos, foi possível determinar o perímetro de proteção dos poços tubulares, estabelecer o perímetro imediato de proteção sanitária, o perímetro de alerta contra poluição, o perímetro de prevenção e o perímetro de contribuição; além do que, através da simulação de bombeamento, os indicativos permitiram dizer que não ocorrerá inversão de fluxos subterrâneos, acarretando na contaminação das águas pelos rio e córregos que cercam a área.

Conclui-se que, a representação artificial dos sistemas aquíferos através de modelos matemáticos para a definição de áreas de proteção de poços é uma metodologia viável e confiável, quando os dados utilizados são suficientemente representativos quanto à quantidade e qualidade dos mesmos. Desse modo, a representação hidrogeológica de uma área através de modelos matemáticos pode chegar bem próximo da realidade, fazendo dessa metodologia uma importante ferramenta para a solução de muitos problemas hidrogeológicos. Entretanto, não pode ser vista como a solução para todos os problemas relacionados à hidrogeologia.

Mente & Cruz (1998), utilizaram a modelagem matemática tridimensional para definir as áreas de proteção dos poços e fontes de água mineral da região de Lindóia, Águas de Lindóia e Serra Negra, no Estado de São Paulo.

Para este estudo, foram reunidos e analisados todos os dados de trabalhos anteriores efetuados na região, tais como estudos e mapeamentos geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos; dados de poços, fontes, nascentes e demais informações disponíveis em órgãos governamentais e empresas.

A metodologia utilizada foi baseada no mapeamento hidrogeológico e dos sistemas de fluxos; no mapeamento de vulnerabilidade e das fontes de poluição; e, na aproximação dos tempos de trânsito.

A partir de modelos de fluxo das respectivas áreas de estudo, foram avaliados os tempos de trânsito até os limites extremos naturais das zonas de recarga, adotando-se critérios uniformes de bombeamento e parâmetros coerentes para o aquífero em pauta durante a modelagem. Para a espessura do aquífero e a vazão de bombeamento, foram tomados valores elevados visando aumentar a margem de segurança das estimativas efetuadas.

Convém destacar mais uma vez, que a metodologia de estudo para a definição de área de proteção de um sistema aquífero requer um conhecimento, o mais detalhado possível, das condições de fluxo e do modelo hidrogeológico, assim como a definição de sua área de influência.

Verifica-se, entretanto, que a metodologia utilizada é específica para poços de bombeamento, os quais apresentam a zona de influência delimitada pelo cone de rebaixamento bem definido, enquanto que uma fonte ou nascente natural não apresenta tal rebaixamento e sua zona de influência abrange toda a zona de recarga da captação.

Desse modo, conclui-se que os modelos matemáticos aplicados para fontes ou nascentes naturais podem não estar representando, seguramente, o sistema físico real do aquífero.

5. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DO PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE FONTES NATURAIS

Para a definição da área de proteção foram levados em consideração os Procedimentos Metodológicos de acordo com a publicação DNPM/fevereiro de 1998, Mente, A. e Cruz, W. B., *Área de proteção das fontes de água mineral da região de Lindóia, Águas de Lindóia e Serra Negra – São Paulo* e a Portaria DNPM nº 231 de 31 de julho de 1998.

A metodologia proposta para a caracterização espacial dos perímetros de proteção em fontes naturais, é baseada na condutividade hidráulica: propriedade física do aquífero que pode ser definida como a velocidade de movimentação da água no subsolo.

Na sua aplicação temos que considerar vários procedimentos, relatados a seguir:

5.1 – Procedimentos de campo

5.1.1 – Mapeamento hidrogeológico de detalhe

Nos arredores do ponto de surgência da fonte deve-se fazer um reconhecimento geológico de detalhe, para caracterização de estruturas e litologias condicionantes do sistema hidrogeológico local.

Além disso, deve-se fazer um levantamento dos pontos d'água, existentes na micro bacia hidrográfica, que possam ter influência na caracterização de sua rede de fluxo. Na falta destes, recomenda-se perfurar poços de reconhecimento, para constatação do nível do aquífero freático e, com estes dados, elaborar um mapa potenciométrico, indicando a seguir, as linhas de fluxo das águas subterrâneas na micro bacia hidrográfica em estudo.

5.1.2 – Amostragem

De posse do mapa potenciométrico e com a caracterização das linhas de fluxo, localizar pontos de amostragem de solo, de modo representativo para a litologia presente e, que estejam dentro do conjunto de linhas de fluxo que tenham sua convergência para o ponto de surgência da fonte.

Assim, as amostras coletadas devem refletir, com a maior representatividade possível, as características granulométricas do solo, proporcionando assim, a obtenção das condições hidrodinâmicas do meio, que influenciam a condutividade hidráulica do solo local.

As amostras devem ser coletadas em função do manto de alteração e, se possível, que representem todo seu perfil, preferencialmente, na zona não saturada, pois este é o elemento filtrante e condicionante da condutividade hidráulica das águas de recarga ou, de possíveis fontes de poluição/contaminação.

Estas amostras, quando possível, devem ser homogeneizadas metro a metro, para o reconhecimento de possíveis variações de condutividade hidráulica ao longo do perfil amostrado.

Havendo possibilidade local, recomenda-se a realização de ensaios de infiltração nos locais amostrados, cujos resultados podem ser comparados com os resultados laboratoriais.

5.2 – Procedimentos laboratoriais

A granulometria (medida do tamanho dos grãos) é a propriedade física fundamental para a determinação da condutividade hidráulica; portanto, as amostras coletadas devem ser analisadas granulometricamente, segundo os métodos de pipetagem, elutrição e peneiramento.

Estes métodos são aplicados freqüentemente, em amostras granulometricamente heterogêneas, com partículas argilosas, até areias grosseiras, muito grosseiras ou ainda, grânulos e seixos, fazendo-se necessário combinar tais métodos, de maneira que os grãos mais grossos sejam peneirados e os mais finos, pipetados (Suguio, 1973).

A utilização da escala granulométrica de Wentworth, possibilita uma nomenclatura padronizada e uniforme.

Todas as amostras devem ser quarteadas com o *quarteador de câmaras do tipo Jones* e, a seguir, pesado cerca de 50 gramas do material de cada amostra para que se inicie a caracterização granulométrica, através do método da pipetagem.

Pipetagem

Com as amostras já quarteadas e previamente pesadas, a porção mais fina é extraída por pipetagem.

Este método é baseado nas mudanças de concentração de partículas do material em suspensão, originalmente uniforme, cujas amostras são pipetadas em intervalos de tempo definidos, a uma profundidade correspondente à sedimentação do material naquele momento. Assim, todas as partículas que tiverem velocidade de sedimentação maior que a razão entre a profundidade e o intervalo de tempo de coleta da amostra, afundarão abaixo do plano dessa profundidade estabelecida, enquanto que, as partículas com velocidade de queda menor que essa razão, permanecerão em sua concentração original e terão afundado somente uma fração dessa distância.

Desse modo, as amostras são colocadas em béqueres e, a seguir, adiciona-se cerca de 200mL de água e 0,50g de pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) a fim de se evitar a floculação das frações argilosas durante o experimento. Com a ajuda de um agitador elétrico, as misturas são agitadas durante 10 minutos. Após este período, as amostras são colocadas em provetas e completadas com água até 1000mL. Nas provetas, as amostras são agitadas manualmente para distribuição uniforme das partículas. A seguir, com as amostras em repouso, são feitas cinco pipetagens para cada amostra de solo, conforme os tempos e as profundidades pré-estabelecidas no método (Tabela 1).

O material pipetado deve ser levado à estufa em temperatura de 60°C até sua secagem total. Uma vez seco, é pesado para a determinação da massa do resíduo argiloso presente em cada amostra.

Profundidade (cm)	Tempo
20	58s
20	3min52s
10	7min44s
10	31min
10	2h3min

Tabela 1 – Profundidades e tempos estabelecidos durante o procedimento do método da pipetagem.

A solução restante na proveta destina-se à separação do silte e das frações arenosas através do método da *elutriação*.

Elutriação

A separação do silte e da areia pelo método da elutriação com fluxo de água contínuo, fluindo da base para o topo do sistema, consiste numa mangueira conectada em uma das extremidades, a uma torneira e, na outra, a um funil sustentado por um suporte.

As partículas com velocidade de queda maior que o fluxo ascendente, afundam, enquanto que àquelas com velocidade menor, são arrastadas para fora do funil eliminando-se, dessa forma, as frações mais finas.

Em seguida, o material é separado da mistura por filtração a vácuo e levado para a estufa até eliminação total da umidade.

Finalmente, as amostras são destinadas ao último processo de separação: *peneiramento das frações arenosas*.

Peneiramento

O requisito mais importante para o peneiramento é que o material esteja totalmente seco, pois a umidade, por mínima que seja, promove forças adesivas entre os grãos menores que 1mm, interferindo nos resultados finais.

Após a secagem, as amostras são colocadas em um conjunto de peneiras com malhas padronizadas seguindo a escala granulométrica escolhida para o experimento e, a seguir, levadas ao vibrador elétrico por 15 minutos. As diferentes frações arenosas contidas em cada uma das peneiras são pesadas individualmente.

Os valores obtidos tanto na pipetagem como no peneiramento, são transcritos para um programa de computador que realiza os cálculos e fornece os resultados finais das análises granulométricas.

5.3 – Procedimentos de escritório

Os dados de granulometria dos solos, obtidos conforme descrito anteriormente, deverão ser plotados no Diagrama Triangular de Shepard (apud SHINZATO, 1999), que fornecerá a classificação textural da amostra.

Segundo Fetter (1988), existe uma relação direta entre a classificação textural da amostra, permeabilidade intrínseca e a condutividade hidráulica, como pode ser observado na Tabela 2.

Material	Permeabilidade Intrínseca (cm ²)	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-14} - 10^{-11}$	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; Silte arenoso	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa; Areia fina	$10^{-10} - 10^{-8}$	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia bem distribuída	$10^{-8} - 10^{-6}$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho bem distribuído	$10^{-7} - 10^{-5}$	$10^{-2} - 10^0$

Tabela 2 – Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados (Fetter, 1988).

Com estes valores, os perímetros de proteção das fontes deverão ser calculados aplicando-se a equação da velocidade, função do espaço e tempo:

$$v = s / t \quad \text{ou} \quad s = v . t$$

Onde, v = velocidade representada pela condutividade hidráulica (centímetros por segundo)

s = distância de proteção das fontes (metros)

t = tempo de trânsito da água no subsolo (segundos)

Os resultados destes cálculos permitem a delimitação dos perímetros de proteção das fontes, conforme determina a Portaria-DNPM nº231/98, aqui modificados para:

Zona Imediata: até 10 metros ao redor da captação, cercada e controlada, na qual se exclui qualquer atividade, armazenamento, manipulação ou aplicação que seja perigosa e que possa comprometer a qualidade da água. Deve-se salientar que esta distância é obrigatória e não depende da geologia local.

Zona Próxima: preferencialmente para a proteção bacteriológica. O limite externo é fixado em termos de tempo de trânsito da água de até 100 dias, desde a superfície do terreno até a fonte captada. São toleradas apenas certas atividades não contaminantes, certos armazenamentos em condições bem controladas e acesso restrito para pessoas e veículos.

Zona Afastada: abrange os limites naturais da bacia hidrográfica (divisores de água) ou uma distância suficiente para a obtenção de tempos de trânsito acima de 100 dias. Sua extensão e forma é muito variável, desde várias centenas de metros até mais de 1quilômetro. Existem certas restrições de uso da terra com relação à ocupação industrial e urbana, determinadas práticas agrícolas e na forma de planejar ou manter vias de comunicação.

6. ÁREAS ESTUDADAS

Para a aplicação da metodologia proposta, foram selecionadas três áreas distintas, levando-se em consideração seus aspectos geológicos.

6.1 – Área I

Esta área de estudo localiza-se no Distrito de Douradinho, município de Piedade, Estado de São Paulo (Figura 1).

Geologia Regional e Local

Segundo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (1981), a referida área insere-se na região onde ocorrem rochas pertencentes ao Complexo Embu e às Suítes graníticas sintectônicas, Fácies Cantareira, todas pertencentes ao Proterozóico Superior.

As rochas da Fácies Cantareira são as de maior representatividade no Pré-Cambriano paulista. O tipo granito-gnáissico é o mais comum.

O Complexo Granitóide Tipo Piedade apresenta dimensões batolíticas, estendendo-se irregularmente por vários quilômetros.

No local da fonte em estudo e nas encostas da área, há uma grande ocorrência de blocos de rochas de dimensões decimétricas e, em número menor, ocorrem matacões com dimensões que podem atingir 4 metros. Estas rochas granitóides que afloram na área de estudo e adjacências referem-se ao embasamento cristalino do Maciço Piedade que conformam os maiores relevos da região.

Existe uma monotonia em termos geológicos, uma vez que constatou-se apenas afloramentos de rochas graníticas e solos de alteração destas rochas. Localmente ocorreram depósitos métricos de sedimentos quaternários, junto às margens dos rios em suas porções mais planas.

São Paulo

- — rios
- — rodovias pavimentadas
- ++ estradas de ferro
- — portos
- — aeroportos
- — aeroportos internacionais

Figura 1 – Localização dos Municípios de Piedade e Cotia, no Estado de São Paulo, referente às Áreas de estudo I e II, respectivamente.

Geomorfologia

Segundo a Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo (IPT, 1981a), a área situa-se na província do Planalto Atlântico, na zona do Planalto Ibiúna.

Trata-se de uma unidade do relevo paulista, individualizado, no interior do Planalto Atlântico. Apresenta-se como um planalto cristalino, com serras graníticas alcançando 1100m de altitude aproximadamente, e vales entre 850 e 900m de altitude.

O interior do Planalto de Ibiúna apresenta relevo suave, de morros com altitudes que mal ultrapassam 100m, entre os quais aparecem relevos mais salientes que testemunham uma superfície mais antiga.

O relevo é sustentado por rochas graníticas e gnáissicas, ocorrendo também metassedimentos em ampla faixa na região.

A predominância granítica acentua a influência dos sistemas de juntas/diáclases no traçado da rede de drenagem.

A fonte captada, situa-se em uma meia encosta e o relevo da área é concordante ao regional, com morretes de dezenas de metros de amplitude.

Vegetação

A vegetação do Planalto Atlântico é predominantemente constituída por Mata Tropical Latifoliada, com manchas dispersas de campos e cerrados. Atualmente a mata original restringe-se a porções isoladas, além de capoeiras e capões dispersos, principalmente junto aos cursos d'água e relevos com declividade acentuada.

Nas áreas rurais próximas, impõem-se os reflorestamentos por pinus e/ou eucaliptos e as hortifruticulturas, além de pastagens.

Na área do entorno da nascente em estudo, principalmente a montante, foi preservada uma porção da mata original que auxilia na manutenção da qualidade da água.

Hidrologia

O Rio Sorocaba constitui a bacia principal de drenagem da zona geomorfológica, na qual a área de estudo está inserida.

O Rio Sarapuí e o Rio Turvinho (afluente do Rio Turvo) são dois rios importantes que ocorrem na região.

A área estudada é cortada de norte a sul pelo Córrego Douradinho, afluente do Rio Turvinho, e que também é alimentado pela nascente em questão.

Clima e Pluviometria

Segundo Nímer (1989), o clima da região é classificado como Mesotérmico Úmido. A temperatura média anual varia entre 20 e 22°C, com pluviosidade anual variando entre 1300 e 1500mm, sendo o regime pluviométrico de clima úmido, sem estação seca e com verão fresco.

Para verificar a influência das chuvas nas vazões da fonte captada, foi instalado um pluviômetro tipo "Ville de Paris" (Figura 2). A partir das medições efetuadas diariamente no pluviômetro e das medições de vazão da fonte, pode-se construir um gráfico comparativo, cujos resultados são mostrados na Tabela 3 e representados graficamente, na Figura 3.

Figura 2 – Pluviômetro tipo "Ville de Paris"

MÊS/ ANO	PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL (mm)	VAZÃO MÉDIA MENSAL (m ³ /h)
Dez/98	238,70	6,79
Jan/99	269,08	7,02
Fev/99	304,50	7,35
Mar/99	35,81	6,98
Abr/99	34,65	6,81
Mai/99	32,55	6,65
Jun/99	55,65	6,44
Jul/99	144,31	6,38
Ago/99	3,62	6,23
Set/99	110,25	6,30
Out/99	46,66	6,16

Tabela 3 – Dados médios mensais de pluviometria e vazão (Área I).

Figura 3 – Gráfico comparativo ilustrando a influência pluviométrica nas vazões da fonte (Área I).

Sondagem

As sondagens não alcançaram o nível do topo do aquífero, pois o solo é pouco profundo e a rocha granítica aflora em diversos pontos, impossibilitando a construção do mapa potenciométrico e posterior determinação das linhas de fluxo.

Diante deste fato, foram coletadas seis amostras de solo durante as sondagens, espacialmente locadas na microbacia à montante da fonte, para melhor representatividade litológica do solo, conforme pode-se observar no Mapa 1.

Estas amostras de solo foram homogeneizadas para cada furo, sofrendo quarteação até um volume aproximado de 1L, posteriormente, foram submetidas à análise granulométrica e seus resultados, comparados com os dados da Tabela 1, conforme metodologia exposta no capítulo 5.

Hidrogeologia

O quimismo das águas subterrâneas é em parte devido à herança química das águas meteóricas infiltrantes na zona de recarga de um aquífero e noutra parte devido à interação (troca de íons) entre a água e as diversas litologias atravessadas. O grau de mineralização depende do tempo de trânsito da água e da solubilidade das rochas atravessadas, ambos fatores associados à pressão e temperatura atuando nas diferentes profundidades em que essa água circula. Em geral, as águas encontradas no território paulista são jovens, com baixa salinidade.

O aquífero cristalino, nesta área de estudo, está representado em litologia granítica que, regionalmente, tem suas águas com baixo teor de mineralização.

A fonte captada situa-se em posição relativamente baixa do terreno, sendo alimentada pela recarga das partes altas de sua própria bacia hidrográfica, com o fluxo de água ocorrendo em profundidade por fendas e diáclases, até encontrar uma soleira de rocha compacta. Esta soleira impede o fluxo descendente e faz com que a água flua para a superfície do terreno no local da fonte.

Durante a fase de pesquisa houve um acompanhamento das características químicas e físico-químicas da água da fonte, cujos resultados médios podem ser observados a seguir, na Tabela 4.

Composição Química (mg/L)				Características Físico-Químicas	
Cátions		Ânions			
Cálcio	0,83	Fluoretos	0,05	pH	5,5
Magnésio	0,31	Cloretos	2,25	Condutividades elétrica	30 μ S/cm
Bário	0,07	Nitratos	3,80		
Estrôncio	0,04	Sulfatos	0,30	Temperatura	19°C
Sódio	3,00	Bicarbonatos	6,81		
Potássio	1,75				
Lítio	0,01				

Tabela 4 – Características químicas e físico-químicas da água na fonte (Área I)

Estes resultados estão dentro dos limites de detecção para os parâmetros estabelecidos pelo Código de Águas Minerais.

Observações Locais

O solo na bacia hidrográfica considerada é utilizado para agricultura de subsistência ou recoberto por manchas florestais remanescentes. Não foi constatado no local, pontos fixos de fontes de poluição, podendo esta ocorrer em decorrência da estrada de terra municipal distante 40 metros da fonte. Caso ocorra algum acidente na estrada e com possíveis poluentes, a fonte conta com uma impermeabilização em suas proximidades e drenos para desvios de fluxos superficiais e subsuperficiais a pouca profundidade.

6.1.1 – Resultados laboratoriais e cálculos para a delimitação dos perímetros de proteção da Área I

Os resultados laboratoriais das seis amostras foram organizados e reunidos no Quadro 3. Estes dados possibilitaram a elaboração da Tabela 5, que apresenta a distribuição das frações granulométricas em cada amostra analisada (areia, silte e argila) e sua respectiva classificação textural, segundo Shepard, conseguida através da utilização do Diagrama Triangular de Shepard, aqui representado pela Figura 4.

Intervalos Granulométricos (Escala ϕ)	Classificação Gran. de Wentworth	Pontos de Sondagem					
		GS1	GS2	GS3	GS4	GS5	GS6
< 0,004	argila	26,89	14,89	37,41	26,02	28,98	33,03
0,004 – 0,008	silte mt fino	3,63	6,05	4,62	4,60	9,18	5,03
0,008 – 0,016	silte fino	3,58	6,67	3,71	3,90	6,63	4,24
0,016 – 0,031	silte médio	2,98	5,83	2,47	4,27	4,92	3,82
0,031 – 0,062	silte grosso	3,14	5,56	2,34	4,02	3,42	3,25
0,062 – 0,125	areia mt fina	2,48	5,06	2,94	4,88	1,75	1,21
0,125 – 0,250	areia fina	8,19	8,19	9,49	11,83	7,64	7,31
0,250 – 0,500	areia média	15,65	16,21	14,00	18,20	14,89	13,42
0,500 – 1,000	areia grossa	21,23	21,27	13,73	15,14	15,71	19,16
1,000 – 2,000	areia mt grossa	8,97	8,01	6,81	5,85	5,14	7,63
2,000 – 4,000	grânulo	3,27	2,27	2,46	1,32	1,74	1,91

Quadro 3 – Resultados laboratoriais de granulometria (Área I).

Amostra		Fração Granulométrica (%)			Classificação de Shepard
Ponto	Prof. (m)	Areia	Silte	Argila	
GS1	1,50	59,77	13,33	26,89	areia argilosa
GS2	1,20	61,00	24,11	14,89	areia siltica
GS3	1,30	49,43	13,14	37,41	areia argilosa
GS4	0,50	57,17	16,79	26,02	areia argilosa
GS5	0,75	46,89	24,15	28,98	areia siltica argilosa
GS6	1,10	50,64	16,34	33,03	areia argilosa

Tabela 5 – Distribuição das frações granulométricas nos pontos analisados da Área I e respectiva classificação textural, segundo Shepard.

Figura 4 – Diagrama Triangular de Shepard classificando as amostras de solo da Área I.

As análises do diagrama nos permite afirmar que as amostras encontram-se classificadas como areia argilosa, areia siltica e areia siltica argilosa.

De acordo com Fetter (1988), estas classificações granulométricas são correlacionáveis à permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica, conforme metodologia exposta no capítulo 5. Deste modo, foi construído o Quadro 4, apresentando os valores obtidos:

Dados obtidos	Permeabilidade intrínseca (cm ²)	Condutividade hidráulica (cm/s)
areia argilosa	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
areia siltica argilosa	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
areia siltica	$10^{-10} - 10^{-8}$	$10^{-5} - 10^{-3}$

Quadro 4 – Faixa de valores obtidos para permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica (Área I).

Utilizando-se, então, os intervalos de condutividade hidráulica apresentados no Quadro 4, foram calculadas as distâncias referentes ao perímetro de proteção da fonte, para um tempo de trânsito de 100 dias, conforme os seguintes cálculos:

Para o valor de condutividade hidráulica igual a 10^{-6} cm/s, temos:

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

onde, $v = 10^{-6}$ cm/s e $t = 8,64 \cdot 10^6$ s, portanto,

$s = 10^{-6}$ cm/s $\cdot 8,64 \cdot 10^6$ s, então,

$s = 8,64$ cm ou $0,0864$ m

Para o valor de condutividade hidráulica igual a 10^{-4} cm/s, temos:

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

onde, $v = 10^{-4}$ cm/s e $t = 8,64 \cdot 10^6$ s, portanto,

$s = 10^{-4}$ cm/s $\cdot 8,64 \cdot 10^6$ s, então,

$s = 864$ cm ou $8,64$ m

Para o valor de condutividade hidráulica igual a 10^{-3} cm/s, temos:

Para o valor de condutividade hidráulica igual a 10^{-3} cm/s, temos:

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

onde, $v = 10^{-3}$ cm/s e $t = 8,64 \cdot 10^6$ s, portanto,

$$s = 10^{-3} \text{ cm/s} \cdot 8,64 \cdot 10^6 \text{ s, então,}$$

$$s = 8640 \text{ cm ou } 86,40 \text{ m}$$

Com base nestes resultados, foram estabelecidos perímetros de proteção no local.

Assim, de acordo com a legislação pertinente, transcrita no capítulo 4, foi construída uma cerca de tela ao redor da captação em um raio aproximado de 10 metros, denominada de **Zona Imediata** ou Zona de Influência, que indica o perímetro imediato de proteção sanitária (Figura 5). A seguir, foi instituída, num raio de 90 metros a partir do mesmo ponto de captação, a **Zona Próxima** ou Zona de Transporte que indica o perímetro de alerta contra poluição.

Além destes perímetros, foi considerado o perímetro relativo à **Zona Afastada** que abrange as denominadas Zonas de Contribuição e Transporte. Esta zona representa a área de recarga influente da microbacia hidrográfica onde está localizada a fonte captada.

As três zonas de proteção podem ser visualizadas no Mapa 1.

Figura 5 –Aspecto geral da casa de proteção no local da fonte, de acordo com as especificações legais e respectiva Zona Imediata delimitada pela cerca de tela (Área I).

MAPA

1

ÁREA I

LOCALIZAÇÃO:

DISTRITO DE
DOURADINHO
MUNICÍPIO DE
PIEDADE - SP

LEGENDA

- EDIFICAÇÃO
- SONDAGEM
- MATA
- VIAS DE ACESSO
- CURVAS DE NÍVEL
- LAGO
- NASCENTE

PERÍMETROS DE PROTEÇÃO

- Zona Imediata de Proteção
- Zona Próxima de Proteção
- Zona Afastada (Limites da Bacia Hidrográfica)

ESCALA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DISSERTAÇÃO
DE MESTRADO

2000

TÍTULO
PERÍMETROS DE PROTEÇÃO
DE FONTES NATURAIS

AUTORA:
VIRGINIA MARIA TEZZONI
COELHO

6.1.2 – Análise dos resultados (Área I)

A análise dos dados da Tabela 3, página 35, nos mostra um certo relacionamento entre as médias mensais de pluviometria e vazão média da fonte, podendo ser melhor observada na Figura 3 da mesma página.

Este relacionamento, incipiente em termos da vazão média, demonstra a existência de recarga aquífera próxima à surgência, com tempo de trânsito menor que trinta dias que, como constatado no local da captação, estava condicionado a locais preferenciais de infiltração, no caso formigueiros.

A composição química e as características físico-químicas mostradas na Tabela 4, página 37, refletem a composição média das águas dos aquíferos cristalinos, no caso em rochas graníticas, apresentando baixo teor de sais, baixa condutividade elétrica e pH ácido. Não apresenta indícios de poluição/contaminação antrópica, o que deve ser preservado no futuro com o estabelecimento dos perímetros de proteção.

Os resultados da análise granulométrica do solo, de acordo com a classificação de Shepard, Tabela 5, página 39, nos mostram que no local temos solos classificados como areia argilosa, em sua maioria, areia siltica e areia siltica argilosa. De acordo com Fetter (1988), Quadro 4 da página 40, a condutividade hidráulica relacionada a esta classificação está entre 10^{-6} a 10^{-3} cm/s, prevalecendo então, aquela situada entre 10^{-6} a 10^{-4} cm/s.

Pela localização dos pontos amostrados e pelos resultados de análise obtidos, podemos afirmar que nas proximidades do ponto de surgência, na microbacia hidrográfica considerada, os solos de cobertura das rochas graníticas são homogêneos, não só em sua composição físico-química, mas também com relação à sua granulometria.

Nos cálculos dos raios dos perímetros de proteção, por motivo de maior segurança, foi considerado sempre um tempo de trânsito de 100 dias, desde o ponto inicial de recarga até a fonte. Além disto, também foi considerada a condutividade hidráulica máxima de 10^{-3} cm/s, apesar de ser constatada em apenas um ponto de amostragem, como pode ser observado na Figura 4, página 39.

6.2 – Área II

Esta área de estudo localiza-se no Distrito de Caucaia do Alto, município de Cotia, Estado de São Paulo (Figura 1).

Geologia Regional e Local

A área pesquisada está inserida no domínio do embasamento Pré-Cambriano, aflorante na região. Este contexto geológico caracteriza-se pela sua compartimentação em blocos justapostos, limitados por zonas de falhamentos transcorrentes (Hasui & Sadowiski, 1976).

Duas grandes unidades litológicas aflorantes podem ser individualizadas, além de corpos granitóides intrusivos. Estas unidades encontram-se separadas pelas falhas de Taxaquara e do Rio Jaguari, sendo todo o conjunto interrompido por zonas de cisalhamento e falhas menores (Juliani, 1992).

Na porção norte aos falhamentos, predominam terrenos metassedimentares e metavulcano-sedimentares, subdividido por Juliani et al. (1986) nos grupos São Roque e Serra Itaberaba.

Ao sul das falhas localiza-se o Grupo Açungui, constituído pelo Complexo Embu e Complexo Pilar. Este conjunto caracteriza-se pelo alto grau metamórfico e intensa deformação. Longas zonas de cisalhamento se sobrepõem regionalmente. A área pesquisada situa-se neste contexto, sendo identificada litologicamente como pertencente ao Grupo Embu.

Nas imediações da área afloram micaxistos e metarenitos (pertencentes ao Complexo Pilar) como também, intrusões graníticas a granodioríticas.

Segundo Hasui & Sadowiski (1976), o Complexo Embu é constituído por migmatitos e gnaisses migmatizados.

Nos limites da área pesquisada identifica-se uma unidade litológica constituída por gnaisses leuco a mesocráticos, com intercalações de lentes métricas a decimétricas de muscovita e granito hololeucocrático.

A porção central da área encontra-se afetada pela deformação, aparentemente local, caracterizando uma zona de cisalhamento de pequena extensão, atuando sobre as estruturas originais da rocha.

Geomorfologia

Segundo a Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo (IPT, 1981), a área situa-se na província do Planalto Atlântico, na zona do Planalto Paulistano, subzona da Morraria do Embu.

Nesta subzona, o relevo aumenta sua amplitude a partir da Serra do Mar e, a área ocupada pelas suas unidades morfológicas torna-se maior, com morretes e colinas mais extensos, dando lugar a morros, quando suas amplitudes ultrapassarem 100m. O padrão de drenagem é mantido, reduzindo-se contudo, o número de tributários. As altitudes que nivelam os topos sofrem um decréscimo no mesmo sentido, indicando que o nível do assoalho dos vales se aprofundam devido a um maior entalhamento da drenagem.

O local pesquisado é um vale encaixado, possivelmente formado por falhamento subvertical, com profundidade aproximada de 100 m, onde localizam-se as nascentes do córrego dos Pires.

A fonte situa-se no flanco de uma encosta íngreme, onde foram executados serviços de nivelamento e limpeza do terreno para melhorar o sistema de captação.

Vegetação

A vegetação do Planalto Atlântico é predominantemente constituída por Mata Tropical Latifoliada, com manchas dispersas de campos e cerrados. Atualmente, a mata original restringe-se à porções isoladas, além de capoeiras e capões dispersos, principalmente junto aos cursos d'água e relevos.

Fazendo limite com a área pesquisada, está o Parque Estadual de Caucaia, onde pode-se constatar a vegetação natural do Planalto Atlântico. Em áreas próximas, verifica-se o reflorestamento por pinus e/ou eucaliptos e uma grande exploração da terra por hortifruticulturas.

Hidrologia

A área pesquisada pertence à bacia hidrográfica do Rio Sorocaba, tendo ali a origem de um de seus principais contribuintes, o córrego denominado dos Grilos, que à jusante, passa a se chamar córrego dos Pires e que, posteriormente, desemboca no Rio Sorocamirim.

Clima e Pluviometria

Segundo Nímer (1989), o clima da região é classificado como Mesotérmico Úmido. a temperatura média anual varia entre 20 e 22°C, com a pluviosidade anual variando entre 1300 e 1500 mm, sendo o regime pluviométrico de clima úmido sem estação seca e com verão fresco.

Para melhor compreensão da influência das chuvas nas vazões da fonte captada, foi instalado um pluviômetro do tipo “Ville de Paris”. A partir das medições efetuadas diariamente no pluviômetro e das medições de vazão da fonte, pode-se construir um gráfico comparativo, cujos resultados são mostrados na Tabela 6 e Figura 6.

Sondagem

Com a finalidade de se construir um mapa potenciométrico do local, foram feitas duas sondagens a trado manual para futura locação das linhas de fluxo do aquífero freático, assim como para a determinação dos parâmetros hidráulicos do solo, mas estas não alcançaram o nível do topo do aquífero, pois o solo é pouco profundo e a rocha gnáissica é subaflorante.

Diante deste fato, foram coletadas duas amostras de solo durante as sondagens, especialmente locadas na microbacia à montante da fonte, para melhor representatividade litológica do solo, conforme pode-se observar no Mapa 2.

As amostras coletadas durante as sondagens foram homogeneizadas para cada furo, sofrendo quarteação até um volume aproximado de 1L, posteriormente, foram submetidas à análise granulométrica e seus resultados, comparados com os dados da Tabela 1, conforme metodologia exposta no capítulo 5.

MÊS/ ANO	PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL (mm)	VAZÃO MÉDIA MENSAL (m ³ /h)
Dez/98	247,38	1,028
Jan/99	253,89	1,040
Fev/99	326,83	1,012
Mar/99	82,18	1,008
Abr/99	44,10	1,005
Mai/99	30,38	1,002
Jun/99	65,10	0,985
Jul/99	121,52	0,988
Ago/99	4,34	0,975
Set/99	102,90	0,978
Out/99	49,91	0,982
Nov/99	193,20	0,983

Tabela 6 – Dados médios mensais de pluviometria e vazão (Área II).

Figura 6 – Gráfico comparativo ilustrando a influência pluviométrica nas vazões da fonte (Área II).

Hidrogeologia

Nessa região, além do aquífero freático comum em todas as unidades geológicas, temos o aquífero cristalino. Uma verificação da capacidade específica em relação à espessura saturada deste aquífero, mostrou que aquela independe da maior ou menor profundidade do nível d'água em poços de exploração, caracterizando assim, sua heterogeneidade, uma vez que sua alimentação ocorre por sistemas de fraturas.

As águas dos aquíferos cristalinos, presentes no local e na região, apresentam-se pouco mineralizadas, adequadas para utilização no abastecimento público, segundo os padrões de potabilidade e, com aptidão para uso agrícola em irrigação e sem restrições nos processos produtivos da atividade industrial.

Teoricamente, pela fonte situar-se em posição relativamente baixa do terreno, tem sua alimentação pela recarga das partes altas de sua própria bacia hidrográfica, com o fluxo de água em profundidade condicionado por fendas e diáclases, até encontrar uma soleira de rocha compacta ou nível de base local. Isto faz com que a água flua devido ao gradiente hidráulico do aquífero.

Durante a fase de pesquisa houve um acompanhamento das características químicas e físico-químicas da água da fonte, cujos resultados médios podem ser observados, a seguir, na Tabela 7.

Composição Química (mg/L)				Características Físico-Químicas	
Cátions		Ânions			
Cálcio	1,05	Fluoretos	0,001	pH	6,2
Magnésio	0,60	Cloretos	1,494	Condutividade elétrica	20µS/cm
Alumínio	0,03	Brometos	0,014		
Sódio	1,90	Nitratos	1,345	Temperatura da água na fonte	20°C
Potássio	0,90	Fosfatos	0,004		
		Sulfatos	0,536		

Tabela 7 – Características químicas e físico-químicas da água na fonte (Área II).

Observações Locais

O solo da bacia hidrográfica considerada é utilizado para agricultura de subsistência e pastagens, ou recoberto por manchas florestais remanescentes e

ocupada por pastagens, não sendo constatado nenhum ponto fixo de fonte de poluição, que a princípio, poderiam alterar a qualidade das águas.

6.2.1 – Resultados laboratoriais e cálculos para a delimitação dos perímetros de proteção da Área II

Os resultados laboratoriais das duas amostras foram organizados e reunidos no Quadro 5. Estes dados possibilitaram a elaboração da Tabela 8, que apresenta a distribuição das frações granulométricas em cada amostra analisada (areia, silte e argila) e sua respectiva classificação textural, segundo Shepard, conseguida através da utilização do Diagrama Triangular de Shepard, aqui representado pela Figura 7.

Intervalos Granulométricos (Escala ϕ)	Classificação Gran. de Wentworth	Pontos de Sondagem	
		A-1	A-2
< 0,004	argila	15,68	21,49
0,004 – 0,008	silte mt fino	4,07	5,15
0,008 – 0,016	silte fino	4,58	4,88
0,016 – 0,031	silte médio	6,01	5,27
0,031 – 0,062	silte grosso	13,29	6,71
0,062 – 0,125	areia mt fina	10,15	8,73
0,125 – 0,250	areia fina	11,97	13,93
0,250 – 0,500	areia média	12,26	12,68
0,500 – 1,000	areia grossa	9,13	8,10
1,000 – 2,000	areia mt grossa	9,31	4,04
2,000 – 4,000	grânulo	3,52	9,05

Quadro 5 – Resultados laboratoriais de granulometria (Área II).

Amostra		Fração Granulométrica (%)			Classificação de Shepard
Ponto	Prof. (m)	Areia	Silte	Argila	
A-1	0,80	56,34	27,95	15,68	areia siltica
A-2	0,80	56,53	22,01	21,49	areia siltica

Tabela 8 – Distribuição das frações granulométricas nos pontos analisados da Área II e respectiva classificação textural, segundo Shepard.

Figura 7 – Diagrama Triangular de Shepard classificando as amostras de solo da Área II.

As análises do diagrama nos permite afirmar que as amostras encontram-se classificadas como areias sílticas.

De acordo com Fetter (1988), esta classificação granulométrica é correlacionável à permeabilidade intrínseca e condutividade, conforme metodologia exposta no capítulo 5. Deste modo, foi construído o Quadro 6, mostrando a seguir, os valores obtidos:

Dados obtidos	Permeabilidade intrínseca (cm ²)	Condutividade hidráulica (cm/s)
areia síltica	$10^{-10} - 10^{-8}$	$10^{-5} - 10^{-3}$

Quadro 6 – Faixa de valores obtidos para permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica (Área II).

Utilizando-se, então, o intervalo de condutividade hidráulica obtido no Quadro 6, foram calculadas as distâncias referentes ao perímetro de proteção da fonte, para um tempo de trânsito de 100 dias, conforme os seguintes cálculos:

Para o valor da condutividade hidráulica igual a 10^{-5} cm/s, temos:

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

onde, $v = 10^{-5}$ cm/s e $t = 8,64 \cdot 10^6$ s, portanto,

$$s = 10^{-5}\text{cm/s} \cdot 8,64 \cdot 10^6\text{s, então,}$$

$$s = 86,4\text{cm ou } 0,864\text{m}$$

Para o valor da condutividade hidráulica igual a 10^{-3} cm/s, temos:

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

onde, $v = 10^{-3}$ cm/s e $t = 8,64 \cdot 10^6$ s, portanto,

$$s = 10^{-3}\text{cm/s} \cdot 8,64 \cdot 10^6\text{s, então,}$$

$$s = 8640\text{cm ou } 86,40\text{m}$$

A partir destes resultados e, de acordo com a legislação pertinente, foi construída uma cerca de tela ao redor da captação com um raio aproximado de 10m,

de proteção sanitária (Figura 8). A seguir, foi instituída a **Zona Próxima** ou Zona de Transporte, com um raio de 90m a partir do ponto de captação, indicando o perímetro de alerta contra poluição. E, finalmente, foi considerado o perímetro relativo à **Zona Afastada** que abrange as denominadas Zonas de Contribuição e Transporte, representando toda a área de recarga influente da microbacia hidrográfica onde está localizada a fonte captada.

As três zonas de proteção podem ser visualizadas no Mapa 2.

Figura 8 – Aspecto geral da casa de proteção da fonte, de acordo com as especificações legais (Área II). Observa-se nesta foto que a cerca de tela definindo a Zona Imediata ainda não havia sido construída.

ÁREA II

LOCALIZAÇÃO:

DISTRITO DE CAUCAIA
DO ALTO - MUNICÍPIO
DE COTIA - SP

LEGENDA

- EDIFICAÇÃO
- SONDAGEM
- MATA
- VIAS DE ACESSO
- CURVAS DE NÍVEL
- LAGO
- NASCENTE

PERÍMETROS DE PROTEÇÃO

- Zona Imediata de Proteção
- Zona Próxima de Proteção
- Zona Afastada

ESCALA 00 50 m

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO

DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO

2000

TÍTULO

PERÍMETROS DE PROTEÇÃO
DE FONTES NATURAIS

AUTORA:

VIRGINIA MARIA TEZZONI
COELHO

6.2.2 – Análise dos resultados (Área II)

A análise dos dados da Tabela 6, na página 47, nos mostra que não há relacionamento entre as médias mensais de pluviometria e a vazão média da fonte, como pode ser observado na Figura 6 da mesma página.

Esta fonte está localizada num afloramento de rocha detectado durante a limpeza do terreno no local da captação. A água que circula no subsolo através de fendas ou fraturas da rocha, encontra-se muito abaixo do solo de cobertura, sem qualquer interação com a água infiltrante da chuva.

As composições química e físico-química mostradas na Tabela 7, página 48, refletem a composição média das águas dos aquíferos cristalinos, no caso em rochas granito-gnáissicas, apresentando baixo teor de sais, baixa condutividade elétrica e pH ácido. Não apresenta indícios de poluição/contaminação antrópica, o que deve ser preservado no futuro com o estabelecimento dos perímetros de proteção.

Os resultados das análises granulométricas do solo, de acordo com a classificação de Shepard, Tabela 8, página 50, nos mostram que no local temos solo classificado como areia siltica. De acordo com Fetter (1988), Quadro 6 da página 51, a condutividade hidráulica relacionada a esta classificação está entre 10^{-5} e 10^{-3} cm/s.

Pela localização dos pontos amostrados e pelos resultados de análise obtidos, podemos afirmar que nas proximidades do ponto de surgência, na microbacia hidrográfica considerada, os solos de cobertura das rochas granito-gnáissicas são homogêneos, não só em sua composição físico-química, mas também com relação à sua granulometria.

Para maior segurança, nos cálculos dos raios dos perímetros de proteção, sempre foi considerado um tempo de trânsito de 100 dias, do ponto inicial de recarga até a fonte.

6.3 – Área III

Esta área de estudo localiza-se na Fazenda Nova Espadilha, Município de Itaquirai, Estado de Mato Grosso do Sul (Figura 9).

Geologia Regional e Local

Através de levantamentos bibliográficos de trabalhos existentes sobre o extremo sudeste do Mato Grosso do Sul e também, trabalhos de reconhecimento em campo, na área de estudo, foi efetuada a caracterização geológica da região.

Na região afloram sedimentos da Bacia Bauru, podendo pertencer à Formação Goio Êre (Grupo Caiuá) ou à Formação Santo Anastácio (Grupo Bauru).

Segundo Araujo et al. (1982), no extremo sudeste do Mato Grosso do Sul, afloram extensas planícies arenosas da Formação Bauru, com arenitos predominantemente finos, quartzosos, com matriz argilosa.

A Formação Caiuá, em todo o sudeste do estado de Mato Grosso do Sul, até proximidades do município de Dourados, é substituída por solos arenosos avermelhados contínuos, sugerindo resultado de intemperismo direto do arenito.

No vale do Córrego Bopeí, próximo do município de Dourados, ocorre um afloramento de arenito tipo Caiuá em contato com basaltos da Formação Serra Geral.

No Estado de Mato Grosso do Sul, a Formação Marília está representada pelo Membro Echaporã, que aflora desde as proximidades de Cassilândia rumo à Inocência, Aporé e Parnaíba, formando escarpas de paredes abruptas de 50 a 60m de altura.

Segundo Fulfaro & Perinotto (1996), é flagrante a ausência total ou parcial das unidades pós-Santo Anastácio nos Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. A falta dessas unidades é atribuída à erosão pós-Bauru. No entanto, pode-se considerar que o alçamento da região à oeste do Rio Paraná é do Paleogeno e o nível de erosão fluvial não atinge os depósitos deste grupo, exceto nos talvegues dos rios principais.

Mato Grosso do Sul

- rios
- rodovias pavimentadas
- estradas de ferro
- portos
- aeroportos
- aeroportos internacionais

Figura 9 – Localização do Município de Itaquirai, no Estado de Mato Grosso do Sul, referente à Área III de estudo.

Eles também consideram que as unidades Caiuá e Santo Anastácio, por ocorrerem próximas à calha do Rio Paraná, foram severamente aplainadas durante a implantação dessa rede hidrográfica, tendo ainda recebido ou desenvolvido um capeamento de depósitos colúvio-aluvionares, que induz a sérios erros de mapeamento dessas duas unidades, sem um controle adequado de campo.

No local da área em estudo, tem-se um arenito de granulometria fina à média, cor branca, estratificação plano paralela, mas com aspecto interno maciço. Na base dos estratos, há uma concentração de minerais opacos e de grãos médios que vão diminuindo para finos, em direção ao topo do estrato.

O arenito, classificado como quartzo-arenito, apresenta matriz silto-argilosa, sendo classificada como submatura. Não se constatou cimentação carbonática nas amostras.

Nota-se nos afloramentos, estratificação sub-horizontal, com mergulho de 10 a 15 graus, mostrando leves marcas onduladas de tamanhos centimétricos.

Observa-se que este arenito branco é recoberto por um arenito marrom-avermelhado, com estratificação cruzada. Na base deste pacote, encontra-se um nível conglomerático, com clastos arredondados, de tamanhos centimétricos e decimétricos, de litologia predominantemente quartzítica.

Este arenito marrom-avermelhado, recobre e proporciona a formação do solo em toda a área de pesquisa.

As características dos arenitos presentes nos afloramentos existentes na área, sugerem que, no local, aflora uma faixa de transição entre as Formações Goio Êre e Santo Anastácio.

Geomorfologia

A região está localizada, geomorfologicamente, nos domínios da Formação Caiuá, que abrange rochas sedimentares. O relevo apresenta-se como sendo uma chapada suavemente ondulada à plana, com poucos vales entalhados e vertentes longas com baixa declividade, tendo suas altitudes variando de 225 a 300m.

Esta condição geomorfológica do local, favorece a recarga subterrânea proveniente das águas de chuva, não favorecendo o escoamento superficial.

Vegetação

De acordo com o estudo RADAMBRASIL (1982), o sudeste do Estado do Mato Grosso do Sul tem sua vegetação enquadrada como Floresta Estacional Semi-Decidua, cobrindo as áreas aluviais e submontanas.

Na região, 86% da área florestal primitiva, sofreu intenso desflorestamento para permitir o desenvolvimento acentuado da agropecuária. Tal expansão fez-se em detrimento da exuberante e densa floresta ali existente, restando atualmente, esporádicos e inexpressivos capões.

Nos capões remanescentes ou mesmo em algumas pastagens, que conservam determinadas espécies nobres, particularmente a peroba, pau-marfim, cedro e ipê, pode-se avaliar a exuberância da vegetação primitiva.

Esta área de estudo, localiza-se em uma fazenda de engorda de bovinos, onde predominam as pastagens, com exemplares remanescentes da antiga floresta, mata ciliar com exemplares médios e reflorestamento parcial com eucaliptos.

Hidrologia

O principal rio dessa região é o Paraná, tendo como seu afluente o Rio Pirajuí, que ao sul, delimita a área de estudo.

No local de pesquisa há um riacho denominado Água Pura, cuja nascente localiza-se ao norte do local. Este riacho percorre toda a área, com seu leito encaixado no talvegue formado devido ao escoamento natural e , possível fraturamento recente da litologia local. Sua vazão à jusante apresenta pouca variação sazonal, próximo à desembocadura no Rio Pirajuí, não existindo, na sua bacia hidrográfica, evidências de escoamento superficial significativo, podendo-se afirmar que sua vazão é fruto de recarga oriunda da pluviometria local, a qual exerce uma função reguladora da quantidade de água que abastece o riacho.

Clima e Pluviometria

Segundo a classificação de Köppen, cuja sistemática fundamenta-se nos regimes térmicos, pluviométricos e nas associações vegetais, a região estudada enquadra-se como pertencente ao clima Mesotérmico, sem estação seca, com verões

quentes e, com médias superiores a 25°C para o mês mais quente, sendo freqüentes as geadas.

A média anual de precipitação pluviométrica para a região sudeste do Mato Grosso do Sul é de 1400mm, sendo o mês de dezembro o mais chuvoso (média de 200mm) e os de julho e agosto, os de menor precipitação (média de 51mm).

Utilizando-se a metodologia de Thornthwaite (1955), foram realizados balanços hídricos para um período de 25 anos (1972 a 1997), para três estações meteorológicas do IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná, distribuídas nas áreas de afloramento do arenito Caiuá (municípios de Cianorte, Paranavaí e Umuarama, noroeste do Estado do Paraná), próximas à região estudada.

O estudo evidenciou um excedente hídrico para todos os meses do ano, inclusive julho e agosto. Em média, o valor de evapotranspiração potencial situa-se ao redor de 1100mm, enquanto que o da precipitação está ao redor de 1400mm ao ano.

Pode-se então afirmar que os aquíferos sedimentares regionais recebem, em geral, recargas durante todo o ano, tendo como base o intervalo de 1972 a 1997.

No local estudado, foi instalado um pluviômetro do tipo “Ville de Paris” para verificar a influência das chuvas nas vazões das fontes captadas. A partir das medições diárias no pluviômetro e das medições de vazão das fontes, pode-se construir um gráfico comparativo, cujos resultados são mostrados na Tabela 9 e Figura 10.

MÊS/ ANO	PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL (mm)	VAZÃO MÉDIA MENSAL (m ³ /h)
Jun/99	265,0	29,25
Jul/99	92,0	25,97
Ago/99	0,0	26,00
Set/99	94,0	26,33
Out/99	39,0	27,60
Nov/99	78,0	26,83
Dez/99	237,0	18,93
Jan/00	127,0	19,13
Fev/00	179,0	19,37
Mar/00	165,0	20,87
Abr/00	32,0	15,83
Mai/00	34,5	14,47
Jun/00	118,5	17,77
Jul/00	86,0	18,50

Tabela 9 – Dados médios mensais de pluviometria e vazão (Área III).

Figura 10 – Gráfico comparativo ilustrando a influência pluviométrica nas vazões das fontes (Área III).

Sondagem

Foram executadas seis sondagens a trado manual à profundidade de 2,20m, localizadas no mapa de levantamento planialtimétrico, para a construção de um mapa potenciométrico local (Mapa 3). Em nenhum ponto perfurado foi alcançado o nível

Sondagem

Foram executadas seis sondagens a trado manual à profundidade de 2,20m, locadas no mapa de levantamento planialtimétrico, para a construção de um mapa potenciométrico local (Mapa 3). Em nenhum ponto perfurado foi alcançado o nível freático, pelo fato dele estar a 14m de profundidade, aproximadamente, conforme ficou constatado através do nível d'água em poços cacimba existentes no local.

As amostras foram coletadas nos intervalos de 0 a 1,10m e de 1,10 a 2,20m de profundidade, duas para cada furo, sofrendo quarteação até um volume aproximado de 1L, depois foram submetidas à análise granulométrica e seus resultados, comparados com os dados da Tabela 1, conforme metodologia exposta no capítulo 5.

Hidrogeologia

O aquífero em estudo está instalado em camadas de arenitos variados, sem cimentação constatada através de lâminas petrográficas.

Estruturalmente, o pacote sedimentar apresenta mergulho suave de 10 a 20 graus para leste, mas não condicionando o sentido de fluxo, que se dá devido ao fluxo de base em ravinamento, por onde escoam o riacho Água Pura, que provavelmente, foi formado pelo basculamento de blocos de pequena amplitude, durante a fase de acomodação da bacia do Paraná.

O aquífero local drena suas águas de forma natural para o riacho mencionado, através de pontos preferenciais (fontes) ou de forma difusa em toda sua extensão.

Nesta área existem seis fontes de captação de água que se localizam nos pontos de ruptura do relevo, no talvegue do riacho Água Pura, exutório natural do aquífero no local, certamente condicionado a uma camada sedimentar menos permeável, que funciona como uma soleira, com o fluxo da água subterrânea escoando pela sua superfície, dificultando um fluxo vertical para camadas mais profundas.

A qualidade da água subterrânea presente no aquífero pesquisado é totalmente segura em relação à saúde fisiológica, devido à baixíssima concentração de sais dissolvidos, podendo inclusive, ser utilizada em medicina e indústrias de alimentação, têxteis, nucleares, químicas e outras.

Durante a fase de pesquisa houve um acompanhamento das características químicas e físico-químicas das águas das fontes, cujos resultados médios podem ser observados a seguir, na Tabela 10.

Composição Química (mg/L)				Características Físico-Químicas	
Cátions		Ânions			
Cálcio	0,40	Fluoretos	0,007	pH	6,0
Magnésio	0,15	Cloretos	0,329		
Ferro ^{total}	0,12	Brometos	0,005		
Manganês	0,02	Nitratos	0,545		
Alumínio	0,07	Fosfatos	0,016	Condutividades elétrica	13 μ S/cm
Bário	0,05	Sulfatos	0,029		
Estrôncio	0,02				
Cobre	0,03				
Sódio	0,34			Temperatura da água na fonte	21°C
Potássio	0,32				

Tabela 10 – Características químicas e físico-químicas da água na fonte (Área III).

Observações Locais

O solo da bacia hidrográfica considerada nunca sofreu processos químicos para o cultivo de gramíneas, portanto, nunca foram aplicados insumos químicos ou minerais e nem agrotóxicos. A limpeza do pasto é feita mecanicamente por arraste de correntes.

O local da pesquisa é um grande pasto natural que possui, junto às fontes, mata ciliar permanente, remanescente da antiga floresta.

As únicas edificações existentes no local, são as seis casas de proteção às captações.

6.3.1 – Resultados laboratoriais e cálculos para a delimitação dos perímetros de proteção (Área III)

Os resultados laboratoriais das doze amostras foram organizados e reunidos no Quadro 7. Estes dados possibilitaram a elaboração da Tabela 11, que apresenta a distribuição das frações granulométricas em cada amostra analisada (areia, silte e argila) e sua respectiva classificação textural, segundo Shepard, conseguida através da utilização do Diagrama Triangular de Shepard, aqui representado pela Figura 11.

Intervalos Gran. (Escala ϕ)	Classif. Gran. de Wentworth	Pontos de Sondagem											
		F1		F2		F3		F4		F5		F6	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<0,004	argila	16,69	17,96	21,88	24,17	11,80	15,30	24,08	22,09	20,19	23,22	30,85	25,07
0,004 – 0,008	silte mt fino	0,45	0,52	0,66	0,53	0,75	0,60	0,95	0,55	0,71	0,77	0,85	0,86
0,008 – 0,016	silte fino	0,67	0,78	1,01	0,81	1,00	0,59	1,21	1,16	1,19	1,12	0,89	1,51
0,016 – 0,031	silte médio	0,60	0,87	0,68	1,08	0,71	0,42	1,06	1,42	0,41	1,04	1,06	0,82
0,031 – 0,062	silte grosso	0,92	1,34	2,51	2,03	1,51	1,50	2,12	2,00	2,60	1,65	2,06	2,56
0,062 – 0,125	areia mt fina	8,65	9,35	15,90	13,30	11,10	9,58	13,71	14,46	12,93	13,87	12,42	15,17
0,125 – 0,250	areia fina	66,96	65,17	53,10	55,12	68,44	69,52	53,70	50,75	58,23	53,92	49,72	50,50
0,250 – 0,500	areia média	5,06	4,01	4,24	2,95	4,69	2,49	3,14	4,46	2,92	3,73	2,16	3,50
0,500 – 1,000	areia grossa	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0,02	0,47	0,01	0,12	0	0,02
1,000 – 2,000	areia mt gros.	0	0	0	0	0	0	0	0,57	0	0,21	0	0
2,000 – 4,000	grânulo	0	0	0	0	0	0	0	2,06	0	0,36	0	0

Quadro 7 – Resultados laboratoriais de granulometria (Área III).

Amostra			Fração Granulométrica (%)			Classificação de Shepard
Ponto		Prof. (m)	Areia	Silte	Argila	
F1	1	1,10	80,67	2,64	16,69	areia ou arenito
	2	2,20	75,72	3,51	17,96	areia ou arenito
F2	1	1,10	73,25	4,86	21,88	areia argilosa
	2	2,20	71,38	4,45	24,17	areia argilosa
F3	1	1,10	84,23	3,97	11,80	areia ou arenito
	2	2,20	81,59	3,11	15,30	areia ou arenito
F4	1	1,10	70,57	5,34	24,08	areia argilosa
	2	2,20	72,77	5,13	22,09	areia argilosa
F5	1	1,10	74,09	5,71	20,19	areia argilosa
	2	2,20	72,21	4,58	23,22	areia argilosa
F6	1	1,10	64,30	4,86	30,85	areia argilosa
	2	2,20	69,19	5,75	25,07	areia argilosa

Tabela 11 – Distribuição das frações granulométricas nos pontos analisados da Área III e respectiva classificação textural, segundo Shepard.

Figura 11 – Diagrama Triangular de Shepard classificando as amostras de solo da Área III.

As análises do diagrama nos permite afirmar que as amostras encontram-se classificadas como areias ou arenitos e areias argilosas.

De acordo com Fetter (1988), esta classificações granulométricas são correlacionáveis à permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica, de acordo com a metodologia exposta no capítulo 5. Deste modo, foi construído o Quadro 8, mostrado a seguir, apresentando os valores obtidos:

Dados obtidos	Permeabilidade intrínseca (cm ²)	Condutividade hidráulica (cm/s)
areia argilosa	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
areia fina	$10^{-10} - 10^{-8}$	$10^{-5} - 10^{-3}$

Quadro 8 – Faixa de valores obtidos para permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica (Área III).

Utilizando-se, então, os intervalos de condutividade hidráulica obtidos no Quadro 8, foram calculadas as distâncias referentes aos perímetros de proteção das fontes, para um tempo de trânsito de 100 dias, conforme os seguintes cálculos:

Para o valor da condutividade hidráulica igual a 10^{-6} cm/s, temos:

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

onde, $v = 10^{-6}$ cm/s e $t = 8,64 \cdot 10^6$ s, portanto,

$s = 10^{-6}$ cm/s $\cdot$ $8,64 \cdot 10^6$ s, então,

$s = 8,64$ cm ou $0,0864$ cm

Para o valor da condutividade hidráulica igual a 10^{-4} cm/s, temos:

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

onde, $v = 10^{-4}$ cm/s e $t = 8,64 \cdot 10^6$ s, portanto,

$s = 10^{-4}$ cm/s $\cdot$ $8,64 \cdot 10^6$, então,

$s = 864$ cm ou $8,64$ m

Para o valor da condutividade hidráulica igual a 10^{-3} cm/s, temos:

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

onde, $v = 10^{-3}\text{cm/s}$ e $t = 8,64 \cdot 10^6\text{s}$, portanto,

$$s = 10^{-3}\text{cm/s} \cdot 8,64 \cdot 10^6\text{s}, \text{ então,}$$

$$s = 8640\text{cm ou } 86,40\text{m}$$

Com base nestes resultados e de acordo com a legislação atual, foi construída uma cerca de tela ao redor de cada ponto de captação, em raio aproximado de 10m, a qual delimita a **Zona Imediata** ou Zona de Influência, que indica o perímetro imediato de proteção sanitária (Figura 12). A seguir, foi instituída, num raio de 90m a partir do ponto de cada captação, a **Zona Próxima** ou Zona de Transporte que indica o perímetro de alerta contra poluição.

Além destes perímetros, foi considerado a perímetro relativo à **Zona Afastada** que abrange as denominadas Zonas de Contribuição e Transporte. Esta zona representa a área de recarga influente da microbacia hidrográfica onde estão localizadas as fontes captadas.

As três zonas de proteção podem ser visualizadas no Mapa 3

Figura 12 – Aspecto geral da casa de proteção construída no local de cada fonte de acordo com as especificações legais e, respectiva Zona Imediata delimitada pela cerca de tela (Área III).

6.3.2 – Análise dos resultados (Área III)

A análise dos dados da Tabela 9 na página 60, nos mostra o relacionamento facilmente identificável entre as médias mensais de pluviometria e a vazão média das fontes em um intervalo de cinco a seis meses. Este intervalo de tempo, por si só, já nos dá a idéia do tempo de trânsito da água no sistema, da área de recarga às fontes consideradas.

A Tabela 10 na página 62, nos mostra que a composição química média das águas das fontes desta área apresentam baixo conteúdo salino, baixa condutividade elétrica e pH ácido. Isso indica que o aquífero é constituído essencialmente por grãos de quartzo bem selecionados, com presença mínima de outros minerais, o que, provavelmente, condiciona a qualidade destas águas subterrâneas.

Estas águas não apresentam indícios de poluição/contaminação antrópica, o que deve ser preservado, tendo em vista o uso atual e futuro desta área e do estabelecimento dos perímetros de proteção.

Os resultados das análises granulométricas dos sedimentos/solos, de acordo com a classificação de Shepard, Tabela 11, página 64, nos mostra que no local temos areia argilosa e areia fina, sendo que 80% das amostras são areias argilosas e o restante areias finas. Portanto, de acordo com Fetter (1988), Quadro 8 da página 65, podemos considerar que na área predomina condutividade hidráulica de 10^{-6} a 10^{-4} cm/s. Apesar disso, foi também considerada, no cálculo do raio do perímetro, a condutividade de 10^{-3} cm/s.

Pela localização dos pontos amostrados e pelos resultados obtidos de análises, podemos afirmar que nas proximidades dos pontos de surgência, na bacia hidrográfica considerada, os solos são bastantes homogêneos em toda sua extensão, não só em sua composição química e físico-química como também em relação a sua granulometria.

Nos cálculos dos raios dos perímetros de proteção, por motivo de maior segurança, sempre foi considerado um tempo de trânsito da água de 100 dias para todas as fontes desde o ponto inicial de recarga até cada uma das fontes.

7. CONCLUSÕES

A partir da conceituação dos termos poluição e contaminação, fontes pontuais e difusas de suas ocorrências, assim como de vulnerabilidade de aquíferos, são discutidos, com base em literatura científica atual, os aspectos comportamentais da poluição/contaminação no meio poroso insaturado e nos aquíferos, principalmente com relação ao comportamento das bactérias patogênicas, causadoras universais de grandes epidemias por doenças de veiculação hídrica.

É apresentado um quadro resumo de alguns estudos realizados com recarga artificial de aquíferos, para a verificação do fator de decaimento de vírus e bactérias patogênicas, no qual ficam ressaltados que a distância de decaimento é intrínseca ao meio geológico pesquisado, enquanto que o tempo de trânsito do decaimento independe do meio geológico, sendo função do tempo de vida nesse meio subterrâneo. Desse modo, fixar distâncias mínimas, não se aplica aos diferentes contextos geológicos, logo, não pode ser utilizado como padrão. Assim, a utilização do tempo de decaimento é o que melhor representa a realidade e pode ser aplicado de forma mais correta.

São feitas considerações e análise da legislação internacional e nacional sobre os perímetros de proteção que estabelecem os entornos das captações de água subterrânea, tendo em vista a crescente preocupação mundial na preservação da qualidade dos recursos hídricos. Ao final desse capítulo é apresentado um quadro resumo sobre perímetros de proteção de captações em diferentes países, inclusive para o Brasil e o Estado São Paulo, onde foram feitas considerações e regulamentações, principalmente, com relação a poços de captação de águas subterrâneas. Como pode-se observar no quadro, a maioria dos países adotam três áreas (ou zonas) de proteção, variando a distância ao ponto de captação, ou o tempo de trânsito da água desde o ponto de recarga até o ponto de captação. Logicamente, o caráter empírico de distância reflete as características geológicas do meio poroso, onde foram executadas as pesquisas orientadoras das legislações.

As legislações baseadas em tempo de trânsito são mais realistas e podem ser aplicadas em qualquer contexto geológico, pois levam em consideração o tempo de

decaimento que o contaminante, no caso, bactérias e vírus, possui até sua completa eliminação no meio poroso considerado.

O quarto capítulo retrata estudos realizados sobre a metodologia utilizada para definição e delimitação de perímetros de proteção em nosso País, os mais recentes, com aplicação de modelagem matemática e numérica tridimensional, para poços tubulares profundos. Conclui-se que a representação hidrogeológica de uma área através de modelos matemáticos, pode chegar bem próxima da realidade, quando os dados utilizados são suficientemente representativos quanto a sua qualidade e quantidade. Estes modelos, quando aplicados para fontes ou nascentes naturais podem não estar representando, seguramente, o sistema físico real do aquífero considerado, dado às necessidades de calibração do modelo adotado.

O quinto capítulo descreve a metodologia utilizada para a definição de perímetros de proteção de fontes naturais, tendo como base para o seu desenvolvimento, a publicação DNPM – “Área de proteção das fontes de água mineral na região de Lindóia, Águas de Lindóia e Serra Negra” produzida por Mente, ^a e Cruz, W. B. em 1998 e a Portaria DNPM nº231 de 31/07/1998.

Esta metodologia utiliza como conceitos básicos a condutividade hidráulica e o tempo de decaimento bacteriológico no meio poroso. Nela são descritos os procedimentos de campo, laboratoriais e de escritório para atingir o objetivo que é a definição dos perímetros de proteção. Enfatiza-se a necessidade de um reconhecimento geológico nos entornos do ponto de captação, com caracterização litológica, estrutural e potenciométrica, com finalidade de determinação do sentido das linhas de fluxo que atuam no escoamento subterrâneo e, qual sua influência real nas águas subterrâneas captadas.

Na ausência de pontos d'água que possam justificar uma malha representativa para a construção de um mapa potenciométrico e assim, obter-se o sentido das linhas de fluxo, toda a microbacia situada a montante do ponto de captação deve ser considerada como contribuinte ou zona de recarga do sistema aquífero, pois toda fonte natural ou surgência, mesmo situada em descontinuidade de rochas cristalinas, possuem uma cobertura de manto de alteração ou solo que sofrem recarga natural e transferem suas águas aos pontos de surgência, somando-se às águas de outra procedência.

No intuito de caracterização hidrodinâmica da área de possível recarga nos entornos do ponto de captação, a metodologia prevê a tomada de amostras do solo, que representem as distintas litologias nesta área. Estas amostras, ao serem retiradas em pontos escavados a trado, deverão representar o perfil do solo na zona não saturada, que é o elemento condicionante da entrada de água superficial e que dá a recarga efetiva ao sistema aquífero considerado.

Estas amostras, após homogeneização são analisadas quanto a sua textura granulométrica, classificadas e, posteriormente, relacionadas com a permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica, de acordo com Fetter (1988). A condutividade hidráulica, assim obtida para vários materiais não consolidados, nos proporciona um intervalo máximo e mínimo de velocidade de escoamento no meio analisado, o que nos indicará com segurança as condições hidrodinâmicas dos entornos do ponto de captação.

Levando em consideração o valor máximo da condutividade hidráulica do meio como fator de segurança e considerando em 100 dias o tempo ideal para o total decaimento bacteriológico, calculam-se as distâncias mínimas para um efetivo perímetro de proteção relacionado a este tipo de contaminante.

São então propostas três zonas de proteção denominadas:

Zona Imediata – área cercada e controlada, na qual se exclui qualquer atividade que possa comprometer a qualidade da água captada, com aproximadamente 10 metros ao redor do ponto de captação, independentemente da geologia local.

Zona Próxima – área fixada em termos de condutividade hidráulica (tempo de trânsito da água em até 100 dias) da cobertura de solo da bacia versante, na qual são admitidas atividades potencialmente não contaminantes, com acesso restrito à pessoas e meios de transporte.

Zona Afastada – área que abrange os limites naturais da bacia hidrográfica versante (área de recarga local) com tempo de trânsito de escoamento subterrâneo maior que 100 dias, na qual faz-se restrições com relação ao uso da terra, ao potencial contaminante urbano e industrial e determinadas práticas agrícolas.

Esta metodologia foi aplicada em três casos reais, onde existem pontos de captação de fontes naturais de águas minerais. Na Área I, a geologia predominante é o granito, onde afloram matacões e o solo é pouco espesso; na Área II, predominam

gnaisse migmatizados, com afloramento de rocha e solo pouco espesso ; e na Área III, temos rochas sedimentares areníticas.

Nas três áreas foram delimitados perímetros de proteção, condizentes com a geologia local, de acordo com a metodologia proposta e que, após análise dos técnicos do DNPM, foram aprovados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANON. (1979). *Biological contamination*. Water Well Journal, maio 1979.
- ARAÚJO, H.J. T.; NETO, A. S.; TRINDADE, C. A. H. (1982). Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SF21 Campo Grande. Rio de Janeiro, MME. p.23 -124. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 28)
- BAIER, D. C.; WESHER, G. M. (1971). *Reclaimed waste water for ground-water recharge*. Water Resources Bulletin, v. 7, n. 5, p. 991-1001.
- BAXTER, K. M.; EDWORTHY, K. J. (1979). *Impact of sewage effluent recharge on groundwater in the chalk for an area in South-East England*. Symp. on Artificial Groundwater Recharge. Dortmund. V. III, paper v.10. DVWK. Bull. 13. Verlag Paul Parey. Hamburg-Berlin, p 169 -201.
- BEREND, J. E. (1970). *Clogging processes and optimization of basin recharge*. Artificial Groundwater Recharge Conference. Reading. The Water Research Assoc. England. Paper 5, p. 111-132.
- BLASZYK, T.; PAWWKA, A. (1972). *Recherches sur l'amélioration des eaux souterraines en Pologne*. IWSA, Int. Water Supply Assoc. New York Congress. Subject Special 11, p. 25-27.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia/SG. (1982) *Projeto RADAMBRASIL. Folha SF.21 Campo Grande*. Brasília, MME. p.416. (Levantamento de Recursos Naturais, 28).
- BROWN, R. F.; SIGNOR, D. C.; WOOD, W. W. (1978). *Artificial ground-water recharge as a water - management technique on the Southern High Plains of*

- Texas and New Mexico*. Texas Department of Water Resources. Report 220, 32p. Austin, Texas.
- CARBONELL, A. J. *et al.* (1993). *Uso e Gestão de Água Subterrânea*. In: COSTA, W. D.. *Hidrologia – Conceitos e Aplicações*. Fortaleza, CPRM-LABHID-UFPE. c.14, p.341-365.
- CUSTODIO, E., *et al.* (1977). *Combined use of surface and groundwater in Barcelona, Metropolitan Area (Spain)*. Int. Ass. Hydrogeologists. Birmingham. V. XIII, 1, p. C14-27.
- CUSTODIO, E.; VILARÓ, F. (1976). *Recarga artificial de aquíferos subterráneos*. *Hidrologia Subterrânea*, v. II, sec. 19 (E. Custodio y M. R. Llamas). Ediciones Omega, Barcelona, p.1963-2026.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Portaria nº 231 de 31 de julho de 1998. Diário Oficial da União de 07/08/98.
- DRENNAY, W. A.; ELIASSEN, R. (1968). *Virus movement in ground-water*. J. Water Pollution Control Fed., v. 40, p. R257-271.
- DUARTE, U. (1980) *Geologia Ambiental da Área de São Pedro/SP – Vetor Água Subterrânea*. São Paulo, 73p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- EDWORTHY, K. J.; DOWNING, R. A. (1979). *Artificial recharge and its relevance in Britain*. The Institution of Water Engineers and Scientists, v. 33, March, London, p. 151-172.
- EREN, J.; GOLDSCHMID, Y. (1970). *Sanitary significance of coliform bacteria in recharge wells*. Artificial Groundwater Conference. Reading. England. The Water Research Assoc., v. II, Supporting Paper B, p. 415-430.

- FETTER, C. W. (1988) Applied Hydrogeology. In: CABRAL, J. *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. Fortaleza, CPRM-LABHID-UFPE. c. 3, p. 35-51.
- FOSTER, S. S. D.; ADAMS, B.; MORALES, M.; TENJO, S. (1992) *Estratégias para La Proteccion de Aguas Subterráneas (una guía para su implementacion)*. Puerto Rico, Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária – CEPIS. 91p.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. (1991) *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. Lima: WHO-PAHO/CEPIS. 78p.
- FRANK, W. H. (1972). *Réalimentation artificielle dans la Republique Fédérale d'Allemagne*. IWSA. Int. Water Supply Assoc. New York Congress. Subject Special 11, p. L1-L2.
- FULFARO, V. F.; PERINOTTO, J. A. J. (1996) A Bacia Bauru: estado da arte. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4, Águas de São Pedro, agos/96. *Boletim/UNESP*, p. 197-304.
- GOLDSCHMIDT, J. (1974). *Water quality aspects of groundwater recharge in Israel*. Journal Am. Water Works Assoc., maio, p. 163-196.
- GOULD, B. W. (1971). *Wastewater reclamation using ground-water recharge: Part 1*. Effluent and Water Treatment Journal, Feb., p. 88-95.
- HASUI, Y.; SADOWISKI, G. R. (1976) *Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Geociências, 6 (3).
- IRITANI, M. A. (1998) *Modelação Matemática Tridimensional para a Proteção das Captações de Água Subterrânea*. São Paulo, 200p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- JIMENA, E. C. (1986) *Recarga Artificial de Acuíferos – Avances y realizaciones*. Boletín de Informaciones y Estudios, Ministério de Obras Públicas y Urbanismo, Barcelona – Espanha, p. 94-95 (nº 45).
- JULIANI, C. (1992) *O Embasamento Pré-Cambriano da Bacia de São Paulo*. Seminário Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. ABAS/ABGE/SBG – SP.
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P.; SCHORSCHER, H. D. (1986) Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogênicos associados: Grupo Serra do Itaberaba na região de São Roque – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Anais* 2, p. 730-747.
- KADDU-MULINDWA, D.; FILIP, Z.; MILDE, G. (1983). *Survival of some pathogenic and potential pathogenic bacteria in groundwater*. Ground Water in Water Resources Planning. Int. Symp. Koblenz. UNESCO-IAH-IAHS, v. II, p. 1137-1145.
- KATZ, D.; KOTT, Y. (1973). *Daliya project, a semi-arid model for conservation by direct recharge of polluted winter flow*. Atti. 2º Convegno Internazionale sulle Acque Sotterranee. Palermo. ESA/AIH/AIEH, p. 701-711.
- LANCE, J. C.; GERBA, C. P.; MELNICK, J. (1976). *Virus movement in soil columns flooded with secondary sewage effluent*. Applied and Environmental Microbiology. V. 32 (4), p. 520-526.
- LOEFFLER, H., et al. (1973). *Erhoehung der Grundfondseffektivitaet durch Grundwasseranreicherung. Weitere ergebnisse zu Einsatz Technologie und Bemessung*. Wasserwirtschafts – Wassertechnik, v. 23, p. 200-204/267-272.
- MARCELINO, M. B. (1999) *Delimitação de perímetros de proteção dos poços tubulares (PPP) empregando a técnica de modelagem numérica tridimensional*.

- São Paulo, 122p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MENTE, A.; CRUZ, W. B. (1998). *Área de Proteção das fontes de água mineral da região de Lindóia, Águas de Lindóia e Serra Negra – São Paulo*. Brasília, DNPM. v.1.
- NÍMER, E. (1989) *Climatologia de Brasil*. Rio de Janeiro, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria Técnica, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente. 421p.
- N. U. (1977). *Almacenamiento y recarga artificial de aguas subterráneas*. Naciones Unidas, Recursos Naturales. Serie del Agua, n. 2. ST/ESA/13, 306p.
- PACHECO, A. C. (1984) *Análise das características técnicas e da legislação para uso e proteção das águas subterráneas em meio urbano – Município de São Paulo*. São Paulo, 174p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- PUFFELEN, J. van (1979). *Artificial groundwater recharge in the Netherlands*. Int. Symp. on Artificial Groundwater Recharge. Dortmund. V. I, paper 1.3. DVWK. Bull. 11. Verlag Paul Parey. Hamburg-Berlin, p. 63-96.
- REBHUN, M.; SCHWARZ, J. (1968). *Clogging and contamination processes in recharge wells*. Water Resources Research. V. 4, n. 6, p. 1207-1219.
- REBOUÇAS, A. C. (1994) Metodologia de Evaluacion de Sistemas Aquíferos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 2, Santiago – Chile, nov./1994. Curso pré-congresso, v. 1, p. 1-23.

- ROMERO, J. C. (1970). *The movement of bacteria and viruses through porous media*. Ground Water, v. 8, n. 2, p. 37-48.
- SÃO PAULO (Estado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT/PRÓ-Minério, 1981. (Escala 1:500.000)
- SÃO PAULO (Estado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT/PRÓ-Minério, 1981a. (Escala 1:500.000)
- SHELEF, G. (1979). *Artificial groundwater recharge of treated effluents as part of Israels national wastewater reclamation scheme*. Int. Symp. on Artificial Groundwater Recharge . Dortmund, paper I.11, p. 229-234.
- SHINZATO, M. C. (1999) *Comportamento de íons metálicos associados a rejeitos de indústria de reaproveitamento de alumínio e ligas metálicas em solos/sedimentos e águas*. São Paulo, 113p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SUGUIO, K. (1973) *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher. Ed. da Universidade de São Paulo. 317p.
- THORTHWAITE, C. W. (1955) *The water balance publications en climatology*, 8 (1). Canterton, New Jersey. 104p.
- USEPA – United State Environmental Protection Agency. (1987) *Guidelines for delineation of wellhead protection areas*. Washington, D.C. 185p.
- VECCHIOLI, J. (1970). *A note on bacterial growth around a recharge well at Bay Park, Long Island, New York*. Water Resources Research, v. 6, n. 5, Outubro, p.1415-1419.

- WAEGENINGH, H. G. van (1985) Overview of the protection of groundwater quality. In: MATTHESS, G.; FOSTER, S. S. D.; SKINNER, A. C. *Theoretical Background, Hidrogeology and Prattice of Groundwater Protection Zones*. Hannover: Heise. UNESCO, International Association of Hydrogeologists, v. 6, p. 159-166.
- YARUZ CARAPCIOGLU, M.; HARIDAS, A. (1984). *Transport and fate of microorganisms in porous media a theoretical investigation*. Journal of Hydrology, 72, p. 149-167.

ANEXOS

ANEXO I

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL

PORTARIA Nº 231, de 31 DE JULHO DE 1998, DOU de 07/08/98

O DIRETOR-GERAL DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM, no uso das atribuições que lhe confere a Portaria nº 340, de 15 de julho de 1992 e o Decreto de 07 de março de 1996, publicado no D.O.U. de 08 de março de 1996, e atendendo ao que estabelece o Art. nº 12, do Decreto-Lei nº 7.841/45, de 08 de agosto de 1945, Código de Águas Minerais e considerando que:

Considerando que a grande maioria das Fontes, Balneários e Estâncias de Águas Minerais e Potáveis de Mesa, naturais, em exploração no país, localiza-se próximo aos centros urbanos, distritos industriais, atividades agropecuárias, lixões e outros agentes poluentes;

Considerando que a água mineral uma vez poluída, descaracteriza a sua qualificação e que na maioria das vezes o processo é irreversível;

Considerando, finalmente, que o conhecimento do potencial hídrico subterrâneo da área e o seu dimensionamento, a sua preservação, a sua conservação e a racionalização do seu uso necessitam de estudos geológicos e hidrogeológicos de detalhe, estudos esses indispensáveis para a definição da área de proteção de uma fonte; resolve:

1. Os titulares de Alvarás de Pesquisa de água classificada como mineral e ou potável de mesa, naturais, e se o seu uso se destine a envase, balneário e estância hidromineral, devem apresentar a área de proteção de sua fonte, quando da apresentação do Relatório Final dos Trabalhos de Pesquisa;

2. Os concessionários que ainda não dispõem de áreas de proteção, deverão apresentar ao DNPM a área de proteção de sua fonte no prazo de 365 (trezentos e sessenta e cinco) dias a contar da publicação da presente portaria;

3. Aprovar a Metodologia de Estudos necessários à definição de Áreas de Proteção de Fontes, Balneários e Estâncias de Águas Minerais e Potáveis de Mesa, naturais, a seguir discriminada:

3.1. OBJETIVO

Regulamentar de acordo com o que estabelece o capítulo III, artigos 12 a 18 do Código de Águas Minerais, as ações e procedimentos necessários à definição de áreas de proteção das fontes, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa em todo o território nacional, objetivando sua preservação, conservação e racionalização de uso.

3.2. FINALIDADES

Conhecer e definir as condições de ocorrência das fontes de águas minerais e

potáveis de mesa; identificar a situação atual e potencial quanto aos riscos de contaminação e grau de vulnerabilidade frente aos diversos fatores ambientais e fontes de poluição, e estabelecer, em função destes condicionantes, as medidas corretivas ou preventivas necessárias à sua proteção e conservação.

3.3. CONCEITUAÇÃO DE ÁREAS OU PERÍMETRO DE PROTEÇÃO

Para efeito desta regulamentação, as áreas ou perímetros de proteção das águas minerais ou potáveis de mesa, captadas através de poços ou fontes e nascentes naturais, destinam-se à proteção da qualidade das águas e tem como objetivo estabelecer os limites dentro dos quais deverá haver restrições de ocupação e de determinados usos que possam vir a comprometer o seu aproveitamento.

Os diversos modos de ocorrência e tipos de sistemas aquíferos dão origem a condições bastantes diferenciadas no que se refere ao grau de vulnerabilidade ou de riscos de contaminação das águas. Em consequência, torna-se necessário um adequado conhecimento do modelo hidrogeológico local e regional para a avaliação e delineamento de um plano de controle e proteção.

Na definição de áreas ou perímetros de proteção deverão ser conceituadas três diferentes zonas segundo suas características hidráulicas: a ZI ou zona de influência; a ZC ou zona de contribuição e a ZT, zona de transporte.

A zona de influência (ZI) é aquela associada ao cone de depressão (rebaixamento da superfície potenciométrica) de um poço em bombeamento ou de uma fonte ou nascente natural, considerado aqui como um afloramento da superfície piezométrica ou freática, equivalente a um dreno.

A zona de contribuição (ZC) é a área de recarga associada ao ponto de captação (fonte ou poço), delimitada pelas linhas de fluxo que convergem a este ponto.

A zona de transporte (ZT) ou de captura é aquela entre a área de recarga e o ponto de captação. É esta zona que determina o tempo de trânsito que um contaminante leva para atingir um ponto de captação, desde a área de recarga. Em geral, este tempo depende da distância do percurso ou fluxo subterrâneo, das características hidráulicas do meio aquífero e dos gradientes hidráulicos.

A zona de influência ZI, associada ao perímetro imediato do poço ou fonte, define uma área onde serão permitidas apenas atividades inerentes ao poço ou fontes e delimita também um entorno de proteção microbiológica. Suas dimensões serão estabelecidas em função das características hidrogeológicas e grau de vulnerabilidade ou risco de contaminação de curto prazo. Nesta zona, não serão permitidas quaisquer edificações e deverá haver severas restrições à atividade agrícola ou outros usos considerados potencialmente poluidores.

As zonas de contribuição e de transporte (ZC e ZT) serão estabelecidas objetivando

uma segura proteção para contaminantes mais persistentes, como produtos químicos industriais ou outras substâncias tóxicas, por exemplo. Sua definição e dimensões serão baseadas em função principalmente das atividades, níveis e intensidade de ocupação e utilização da terra, levando-se em conta também as estimativas sobre o tempo de trânsito.

3.4. ESTUDOS E LEVANTAMENTOS

A definição das áreas de proteção deverá ser baseada em estudos e levantamentos prévios, envolvendo:

- a- Caracterização hidrológica e climática.
- b- Características hidrogeológicas locais e sua inserção no contexto regional.
- c- Características físico-químicas e sanitárias das águas.
- d- Caracterização do uso do solo e das águas, com identificação das principais fontes de poluição.
- e- Análise das possibilidades de contaminação das fontes e seu grau de vulnerabilidade aos agentes poluentes.
- f- Identificação de medidas corretivas ou preventivas com estabelecimento de um plano de controle.
- g- Definição das áreas de proteção.

3.4.1. Caracterização Hidrológica e Climática

- a- Características da drenagem e principais aspectos físicos das bacias hidrográficas.
- b- Regime fluviométrico e dados de vazões máximas e mínimas.
- c- Principais características climáticas - tipo de clima, regime e totais pluviométricos, temperaturas e umidade relativa.

3.4.2 - Características Hidrogeológicas

- a- Geologia - aspectos litológicos e estruturais da área e sua inserção regional. Apresentação de base geológica local e situação regional.
- b- Identificação e caracterização do(s) sistema(s) aquífero(s):
 - b-1 = Tipos de aquífero: local ou regional, granular, fissurado, cárstico, livre, confinado ou semi-confinado.
 - b-2 = Sua distribuição e áreas de ocorrência (mapa dos sistemas aquíferos), condições de contorno ou limites (impermeáveis ou de recarga).
 - b-3 = Características hidráulicas (permeabilidade, transmissividade, porosidade efetiva ou coeficiente de armazenamento).
 - b-4 = Dados de pontos d'água existentes (fontes, nascentes, poços rasos, poços tubulares).
 - b-5 = Capacidade específica dos poços e vazões das fontes.
- c- Definição do modelo hidrogeológico
 - c-1 = Superfície piezométrica ou freática.
 - c-2 = Direções de fluxo ou escoamento.
 - c-3 = Identificação das áreas de recarga e descarga.
 - c-4 = Estimativas de infiltração e do tempo de residência das águas.

3.4.3.- Características Hidroquímicas

a- Qualidade química e físico-química - tipos de águas, maiores elementos e traços, metais pesados, fenóis e outras substâncias orgânicas e tóxicas - Classificação quanto ao Código de Águas Minerais.

b- Qualidade sanitária - análises microbiológicas.

c- Relações água-rocha e evolução química da água - variações temporais.

3.4.4 - Caracterização do Uso do Solo e das Águas - fontes atuais e potenciais de poluição:

a- Identificação e mapeamento dos principais usos do solo e das águas na área de influência direta - usos urbanos, industriais, agrícolas e pecuário.

b- Identificação das fontes de poluição ou agentes poluentes - origem, tipos e caracterização de resíduos e efluentes líquidos.

c- Principais usos das águas superficiais e subterrâneas - doméstico, industrial, agrícola, diluição de despejos.

3.4.5 - Análise das Possibilidades de Contaminação das Fontes e Grau de Vulnerabilidade:

a- Análise de eventuais interferências e impactos ambientais sobre a quantidade e qualidade das águas minerais decorrentes do uso e ocupação do solo ou da utilização das águas subterrâneas e superficiais.

Na análise das possibilidades de interferências ou de impactos ambientais adversos deverão ser definidas sua importância e magnitude, localização e extensão (pontual, local, regional), duração (temporária ou permanente), previsão de incidência dos efeitos (curto, médio e longo prazos) e seu grau de reversibilidade.

b- Análise conjunta de todos esses fatores aliados às condições de ocorrência das águas das fontes no sentido de definir seu grau de vulnerabilidade aos agentes contaminantes.

3.4.6 - Definição das Áreas de Proteção

Para a definição das Áreas de Proteção, deverão ser utilizados métodos apropriados e adequados às disponibilidade de informações, das características hidrogeológicas e do nível de intensidade de ocupação das áreas em estudo, devendo ser apresentado, o memorial descritivo e a planta de situação da área acompanhada da Anotação de Responsabilidade Técnica - A.R.T.

O DNPM, com base em critérios técnicos, aprovará a delimitação de áreas de proteção, ou formulará exigências que se fizerem necessárias.

4. Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação.

Miguel Navarrete Fernandez Júnior

Diretor Geral do DNPM

ANEXO II

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

LABSED

Data

Amostra: GS1		Massa dispersante (g)	0,50
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*	
Massa total inicial - Mi (g)	50,59	Partículas 4,000 - 0,062 (g)	29,6500
Massa dos seixos (g)		Partículas menores 0,062 (g)	19,9450
Eliminação ataque químico (g)		Massa total final - Mf (g)	49,5950
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf	1,0201

PIPETAGEM

Granulometri (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.aliquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,9781	10,5792	0,3989	0,0311	1,5550
0,031 - 0,016	01:56	03:52	11,0018	10,634	0,3678	0,0296	1,4800
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,4015	8,0633	0,3382	0,0355	1,7750
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,1857	7,883	0,3027	0,0360	1,8000
<0,004	123:00	246:00	7,9775	7,7108	0,2667	0,2667	13,3350

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830		0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	1,62	1,65	3,27	3,27	grânulo	
2,000 - 1,410	2,45	2,50	4,94	8,21	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	2	2,04	4,03	12,24	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	5,11	5,21	10,30	22,54	areia grossa	
0,707 - 0,500	5,42	5,53	10,93	33,47	areia grossa	
0,500 - 0,354	5,39	5,50	10,87	44,34	areia média	
0,354 - 0,250	2,37	2,42	4,78	49,12	areia média	
0,250 - 0,177	2,49	2,54	5,02	54,14	areia fina	
0,177 - 0,125	1,57	1,60	3,17	57,30	areia fina	
0,125 - 0,088	0,81	0,83	1,63	58,94	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	0,42	0,43	0,85	59,78	areia mt.fina	
<0,062 (limbo)	0				silte/argila	
0,062 - 0,031	1,555	1,59	3,14	62,92	silte grosso	
0,031 - 0,016	1,48	1,51	2,98	65,90	silte médio	
0,016 - 0,008	1,775	1,81	3,58	69,48	silte fino	
0,008 - 0,004	1,8	1,84	3,63	73,11	silte mt. fino	
<0,004	13,335	13,60	26,89	100,00	argila	
Total	49,595	50,59	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de prot. de fontes e nascentes

LABSED

Data

Amostra: GS2		Massa dispersante (g)		0,50	
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*			
Massa total inicial - Mi (g)	50,89	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		30,6300	
Massa dos seixos (g)		Partículas menores 0,062 (g)		19,5850	
Eliminação ataque químico (g)		Massa total final - Mf (g)		50,2150	
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0134	

PIPETAGEM

Granulometri	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.aliquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,2293	7,8376	0,3917	0,0558	2,7900
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,5552	10,2193	0,3359	0,0586	2,9300
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,0956	9,8183	0,2773	0,0670	3,3500
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,0773	7,867	0,2103	0,0608	3,0400
<0,004	123:00	246:00	7,5172	7,3677	0,1495	0,1495	7,4750

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830		0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	1,14	1,16	2,27	2,27	grânulo	
2,000 - 1,410	1,15	1,17	2,29	4,56	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	2,87	2,91	5,72	10,28	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	4,94	5,01	9,84	20,11	areia grossa	
0,707 - 0,500	5,74	5,82	11,43	31,54	areia grossa	
0,500 - 0,354	5,01	5,08	9,98	41,52	areia média	
0,354 - 0,250	3,13	3,17	6,23	47,75	areia média	
0,250 - 0,177	2,65	2,69	5,28	53,03	areia fina	
0,177 - 0,125	1,46	1,48	2,91	55,94	areia fina	
0,125 - 0,088	1,59	1,61	3,17	59,11	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	0,95	0,96	1,89	61,00	areia mt. fina	
<0,062 (fundo)	0				silte/argila	
0,062 - 0,031	2,79	2,83	5,56	66,55	silte grosso	
0,031 - 0,016	2,93	2,97	5,83	72,39	silte médio	
0,016 - 0,008	3,35	3,40	6,67	79,06	silte fino	
0,008 - 0,004	3,04	3,08	6,05	85,11	silte mt. fino	
<0,004	7,475	7,58	14,89	100,00	argila	
Total	50,215	50,89	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

LABSED

Data

Amostra: GS3

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

51,22

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

24,8900

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

25,4450

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

50,3350

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

1,0176

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)	M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms
0,062 - 0,031	00:29	00:58	7,5780	7,0691	0,5089	0,0236
0,031 - 0,016	01:56	03:52	11,6411	11,1558	0,4853	0,0249
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,6056	10,1452	0,4604	0,0373
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,154	7,7309	0,4231	0,0465
<0,004	123:00	246:00	8,2765	7,8999	0,3766	0,3766
						18,8300

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830		0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	1,24	1,26	2,46	2,46	grânulo	
2,000 - 1,410	1,49	1,52	2,96	5,42	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	1,94	1,97	3,85	9,28	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	3,34	3,40	6,64	15,91	areia grossa	
0,707 - 0,500	3,57	3,63	7,09	23,01	areia grossa	
0,500 - 0,354	4,4	4,48	8,74	31,75	areia média	
0,354 - 0,250	2,65	2,70	5,26	37,01	areia média	
0,250 - 0,177	2,83	2,88	5,62	42,63	areia fina	
0,177 - 0,125	1,95	1,98	3,87	46,51	areia fina	
0,125 - 0,088	0,95	0,97	1,89	48,40	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	0,53	0,54	1,05	49,45	areia mt. fina	
<0,062 (limo)	0				silte/argila	
0,062 - 0,031	1,18	1,20	2,34	51,79	silte grosso	
0,031 - 0,016	1,245	1,27	2,47	54,27	silte médio	
0,016 - 0,008	1,865	1,90	3,71	57,97	silte fino	
0,008 - 0,004	2,325	2,37	4,62	62,59	silte mt. fino	
<0,004	18,83	19,16	37,41	100,00	argila	
Total	50,335	51,22	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

Data

Amostra: GS4		Massa dispersante (g)	0,50
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*	
Massa total inicial - Mi (g)	51,97	Partículas 4,000 - 0,062 (g)	28,5600
Massa dos seixos (g)		Partículas menores 0,062 (g)	21,3850
Eliminação ataque químico (g)		Massa total final - Mf (g)	49,9450
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf	1,0405

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,2314	9,8037	0,4277	0,0402	2,0100
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,1724	7,7849	0,3875	0,0427	2,1350
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,7731	8,4283	0,3448	0,0390	1,9500
0,008 - 0,004	31:00	62:00	9,9653	9,6595	0,3058	0,0459	2,2950
<0,004	123:00	246:00	10,6471	10,3872	0,2599	0,2599	12,9950

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830		0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0,66	0,69	1,32	1,32	grânulo	
2,000 - 1,410	1,02	1,06	2,04	3,36	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	1,88	1,96	3,76	7,13	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	2,95	3,07	5,91	13,03	areia grossa	
0,707 - 0,500	4,61	4,80	9,23	22,26	areia grossa	
0,500 - 0,354	5,04	5,24	10,09	32,36	areia média	
0,354 - 0,250	4,05	4,21	8,11	40,46	areia média	
0,250 - 0,177	3,82	3,97	7,65	48,11	areia fina	
0,177 - 0,125	2,09	2,17	4,18	52,30	areia fina	
0,125 - 0,088	1,88	1,96	3,76	56,06	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	0,56	0,58	1,12	57,18	areia mt. fina	
0,062 - 0,031	0				silte/argila	
0,062 - 0,031	2,01	2,09	4,02	61,21	silte grosso	
0,031 - 0,016	2,135	2,22	4,27	65,48	silte médio	
0,016 - 0,008	1,95	2,03	3,90	69,39	silte fino	
0,008 - 0,004	2,295	2,39	4,60	73,98	silte mt. fino	
<0,004	12,995	13,52	26,02	100,00	argila	
Total	49,945	51,97	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

Data

Amostra: GS5		Massa dispersante (g)		0,50
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*		
Massa total inicial - Mi (g)	50,7	Partículas 4,000 - 0,062 (g)	23,1300	
Massa dos seixos (g)		Partículas menores 0,062 (g)	26,2200	
Eliminação ataque químico (g)		Massa total final - Mf (g)	49,3500	
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf	1,0274	

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.aliquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,8736	10,3492	0,5244	0,0338	1,6900
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,8722	10,3816	0,4906	0,0486	2,4300
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,3938	9,9518	0,4420	0,0654	3,2700
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,0287	9,6521	0,3766	0,0906	4,5300
<0,004	123:00	246:00	7,9302	7,6442	0,2860	0,2860	14,3000

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830		0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0,86	0,88	1,74	1,74	grânulo	
2,000 - 1,410	0,87	0,89	1,76	3,51	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	1,67	1,72	3,38	6,89	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	3,29	3,38	6,67	13,56	areia grossa	
0,707 - 0,500	4,46	4,58	9,04	22,59	areia grossa	
0,500 - 0,354	4,57	4,70	9,26	31,85	areia média	
0,354 - 0,250	2,78	2,86	5,63	37,49	areia média	
0,250 - 0,177	2,29	2,35	4,64	42,13	areia fina	
0,177 - 0,125	1,48	1,52	3,00	45,13	areia fina	
0,125 - 0,088	0,65	0,67	1,32	46,44	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	0,21	0,22	0,43	46,87	areia mt.fina	
<0,062 (fino)	0				silte/argila	
0,062 - 0,031	1,69	1,74	3,42	50,29	silte grosso	
0,031 - 0,016	2,43	2,50	4,92	55,22	silte médio	
0,016 - 0,008	3,27	3,36	6,63	61,84	silte fino	
0,008 - 0,004	4,53	4,65	9,18	71,02	silte mt. fino	
<0,004	14,3	14,69	28,98	100,00	argila	
Total	49,35	50,70	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

Data

Amostra: GS6		Massa dispersante (g)	0,50
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*	
Massa total inicial - Mi (g)	50	Partículas 4,000 - 0,062 (g)	24,1800
Massa dos seixos (g)		Partículas menores 0,062 (g)	23,5750
Eliminação ataque químico (g)		Massa total final - Mf (g)	47,7550
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf	1,0470

PIPETAGEM

Granulometri (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,6048	8,1333	0,4715	0,0310	1,5500
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,1596	7,7191	0,4405	0,0365	1,8250
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,6157	10,2117	0,4040	0,0405	2,0250
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,2552	7,8917	0,3635	0,0480	2,4000
<0,004	123:00	246:00	8,3706	8,0551	0,3155	0,3155	15,7750

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830		0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0,91	0,95	1,91	1,91	grânulo	
2,000 - 1,410	1,14	1,19	2,39	4,29	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	2,5	2,62	5,24	9,53	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	3,59	3,76	7,52	17,05	areia grossa	
0,707 - 0,500	5,56	5,82	11,64	28,69	areia grossa	
0,500 - 0,354	3,94	4,13	8,25	36,94	areia média	
0,354 - 0,250	2,47	2,59	5,17	42,11	areia média	
0,250 - 0,177	2,42	2,53	5,07	47,18	areia fina	
0,177 - 0,125	1,07	1,12	2,24	49,42	areia fina	
0,125 - 0,088	0,43	0,45	0,90	50,32	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	0,15	0,16	0,31	50,63	areia mt.fina	
<0,062 (fundo)	0				silte/argila	
0,062 - 0,031	1,55	1,62	3,25	53,88	silte grosso	
0,031 - 0,016	1,825	1,91	3,82	57,70	silte médio	
0,016 - 0,008	2,025	2,12	4,24	61,94	silte fino	
0,008 - 0,004	2,4	2,51	5,03	66,97	silte mt. fino	
<0,004	15,775	16,52	33,03	100,00	argila	
Total	47,755	50,00	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED							
Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho							
Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes							
Data							
Amostra: A-1 (Caucaia)				Massa dispersante (g)		0,50	
Antes da separação granulométrica				*Após a separação granulométrica*			
Massa total inicial - Mi (g)		50		Partículas 4,000 - 0,062 (g)		31,3500	
Massa dos seixos (g)				Partículas menores 0,062 (g)		24,2800	
Eliminação ataque químico (g)				Massa total final - Mf (g)		55,6300	
Volume da proveta - Vp (ml)		1000		Fator de correção Mi/Mf		0,8988	
PIPETAGEM							
Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,7565	8,2709	0,4856	0,1479	7,3950
0,031 - 0,016	01:56	03:52	7,6726	7,3349	0,3377	0,0669	3,3450
0,016 - 0,008	07:44	15:28	7,6275	7,3567	0,2708	0,0510	2,5500
0,008 - 0,004	31:00	62:00	11,0171	10,7973	0,2198	0,0453	2,2650
<0,004	123:00	246:00	8,1538	7,9793	0,1745	0,1745	8,7250
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo		
2,830 - 2,000	1,96	1,76	3,52	3,52	grânulo		
2,000 - 1,410	2,07	1,86	3,72	7,24	areia mt. grossa		
1,410 - 1,000	3,11	2,80	5,59	12,83	areia mt. grossa		
1,000 - 0,707	1,63	1,47	2,93	15,76	areia grossa		
0,707 - 0,500	3,45	3,10	6,20	21,97	areia grossa		
0,500 - 0,354	3,72	3,34	6,69	28,65	areia média		
0,354 - 0,250	3,1	2,79	5,57	34,23	areia média		
0,250 - 0,177	3,56	3,20	6,40	40,63	areia fina		
0,177 - 0,125	3,1	2,79	5,57	46,20	areia fina		
0,125 - 0,088	3,19	2,87	5,73	51,93	areia mt. fina		
0,088 - 0,062	2,46	2,21	4,42	56,35	areia mt. fina		
<0,062 (limite)	3,9				silte/argila		
0,062 - 0,031	7,395	6,65	13,29	69,65	silte grosso		
0,031 - 0,016	3,345	3,01	6,01	75,66	silte médio		
0,016 - 0,008	2,55	2,29	4,58	80,24	silte fino		
0,008 - 0,004	2,265	2,04	4,07	84,32	silte mt. fino		
<0,004	8,725	7,84	15,68	100,00	argila		
Total	55,63	50,00	100,00				

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

1532

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

LABSED
Oecologia Urbana

Data

Amostra: A-2 (Caucaia)

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

49,75

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

28,4900

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

21,9300

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

50,4200

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

0,9867

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,1516	7,7130	0,4386	0,0677	3,3850
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,1768	7,8059	0,3709	0,0531	2,6550
0,016 - 0,008	07:44	15:28	11,1168	10,799	0,3178	0,0492	2,4600
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,3892	10,1206	0,2686	0,0519	2,5950
<0,004	123:00	246:00	7,5509	7,3342	0,2167	0,2167	10,8350

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	3,18	3,14	6,31	6,31	grânulo	
2,830 - 2,000	1,38	1,36	2,74	9,04	grânulo	
2,000 - 1,410	1	0,99	1,98	11,03	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	1,04	1,03	2,06	13,09	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	2,03	2,00	4,03	17,12	areia grossa	
0,707 - 0,500	2,05	2,02	4,07	21,18	areia grossa	
0,500 - 0,354	3,17	3,13	6,29	27,47	areia média	
0,354 - 0,250	3,22	3,18	6,39	33,86	areia média	
0,250 - 0,177	3,83	3,78	7,60	41,45	areia fina	
0,177 - 0,125	3,19	3,15	6,33	47,78	areia fina	
0,125 - 0,088	2,43	2,40	4,82	52,60	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	1,97	1,94	3,91	56,51	areia mt. fina	
0,062 - 0,031	3,15				silte/argila	
0,062 - 0,031	3,385	3,34	6,71	63,22	silte grosso	
0,031 - 0,016	2,655	2,62	5,27	68,48	silte médio	
0,016 - 0,008	2,46	2,43	4,88	73,36	silte fino	
0,008 - 0,004	2,595	2,56	5,15	78,51	silte mt. fino	
<0,004	10,835	10,69	21,49	100,00	argila	
Total	50,42	49,75	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGC USP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

LABSED
Geotecnia USP

Data

Amostra: F1-1

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

50,11

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

40,0100

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

9,5900

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

49,6000

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

1,0103

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)	M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,0222	7,8304	0,1918	0,0091
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,5147	10,332	0,1827	0,0060
0,016 - 0,008	07:44	15:28	9,5581	9,3814	0,1767	0,0066
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,6397	10,4696	0,1701	0,0045
<0,004	123:00	246:00	8,5961	8,4305	0,1656	0,1656

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,707 - 0,500	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,04	0,04	0,08	0,08	areia média	
0,354 - 0,250	2,47	2,50	4,98	5,06	areia média	
0,250 - 0,177	23,3	23,54	46,98	52,04	areia fina	
0,177 - 0,125	9,91	10,01	19,98	72,02	areia fina	
0,125 - 0,088	3,1	3,13	6,25	78,27	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	1,19	1,20	2,40	80,67	areia mt.fina	
<0,062 (fundo)	0,73				silte/argila	
0,062 - 0,031	0,455	0,46	0,92	81,58	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,3	0,30	0,60	82,19	silte médio	
0,016 - 0,008	0,33	0,33	0,67	82,85	silte fino	
0,008 - 0,004	0,225	0,23	0,45	83,31	silte mt. fino	
<0,004	8,28	8,37	16,69	100,00	argila	
Total	49,6	50,11	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

Data

Amostra: F1-2

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

46,4

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

36,4461

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

9,9600

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

46,4061

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

0,9999

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. aliquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,1554	9,9562	0,1992	0,0124	0,6200
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,3364	10,1496	0,1868	0,0081	0,4050
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,5563	10,3776	0,1787	0,0072	0,3600
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,0581	7,8866	0,1715	0,0048	0,2400
<0,004	123:00	246:00	8,1245	7,9578	0,1667	0,1667	8,3350

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0,0027	0,00	0,01	0,01	areia grossa	
0,707 - 0,500	0,0015	0,00	0,00	0,01	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,0419	0,04	0,09	0,10	areia média	
0,354 - 0,250	1,82	1,82	3,92	4,02	areia média	
0,250 - 0,177	21,21	21,21	45,71	49,73	areia fina	
0,177 - 0,125	9,03	9,03	19,46	69,19	areia fina	
0,125 - 0,088	3,03	3,03	6,53	75,71	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	1,31	1,31	2,82	78,54	areia mt. fina	
<0,062 (fino)	0,78				silte/argila	
0,062 - 0,031	0,62	0,62	1,34	79,87	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,405	0,40	0,87	80,75	silte médio	
0,016 - 0,008	0,36	0,36	0,78	81,52	silte fino	
0,008 - 0,004	0,24	0,24	0,52	82,04	silte mt. fino	
<0,004	8,335	8,33	17,96	100,00	argila	
Total	46,4061	46,40	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de Proteção de fontes e nascentes

LABSED

Data

Amostra: F2-1

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

46,2

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

33,8026

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

12,3400

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

46,1426

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

1,0012

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g) Mt	M. frasco (g) Mfr	M. aliquota (g) Mt-Mfr-D	M. suspens aliq (g) Ms	M susp. total (g) Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,8844	10,6376	0,2468	0,0232	1,1600
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,909	10,6854	0,2236	0,0063	0,3150
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,5944	8,3771	0,2173	0,0093	0,4650
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,8116	10,6036	0,2080	0,0061	0,3050
<0,004	123:00	246:00	9,8615	9,6596	0,2019	0,2019	10,0950

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,707 - 0,500	0,0048	0,00	0,01	0,01	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,0778	0,08	0,17	0,18	areia média	
0,354 - 0,250	1,88	1,88	4,07	4,25	areia média	
0,250 - 0,177	15,01	15,03	32,53	36,78	areia fina	
0,177 - 0,125	9,49	9,50	20,57	57,35	areia fina	
0,125 - 0,088	5,28	5,29	11,44	68,79	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	2,06	2,06	4,46	73,26	areia mt. fina	
<0,062 (fino)	1,38				silte/argila	
0,062 - 0,031	1,16	1,16	2,51	75,77	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,315	0,32	0,68	76,45	silte médio	
0,016 - 0,008	0,465	0,47	1,01	77,46	silte fino	
0,008 - 0,004	0,305	0,31	0,66	78,12	silte mt. fino	
<0,004	10,095	10,11	21,88	100,00	argila	
Total	46,1426	46,20	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de Proteção de fontes e nascentes

Data

Amostra: F2-2

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

49,63

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

35,3663

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

14,1800

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

49,5463

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

1,0017

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M. susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	9,5391	9,2555	0,2836	0,0201	1,0050
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,4784	10,2149	0,2635	0,0107	0,5350
0,016 - 0,008	07:44	15:28	7,2814	7,0286	0,2528	0,0080	0,4000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	7,7445	7,4997	0,2448	0,0053	0,2650
<0,004	123:00	246:00	10,3787	10,1392	0,2395	0,2395	11,9750

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,707 - 0,500	0,0063	0,01	0,01	0,01	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,06	0,06	0,12	0,13	areia média	
0,354 - 0,250	1,4	1,40	2,83	2,96	areia média	
0,250 - 0,177	14,76	14,78	29,79	32,75	areia fina	
0,177 - 0,125	12,55	12,57	25,33	58,08	areia fina	
0,125 - 0,088	4,45	4,46	8,98	67,06	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	2,14	2,14	4,32	71,38	areia mt. fina	
<0,062 (fundo)	1,12				silte/argila	
0,062 - 0,031	1,005	1,01	2,03	73,41	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,535	0,54	1,08	74,49	silte médio	
0,016 - 0,008	0,4	0,40	0,81	75,30	silte fino	
0,008 - 0,004	0,265	0,27	0,53	75,83	silte mt. fino	
<0,004	11,975	12,00	24,17	100,00	argila	
Total	49,5463	49,63	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de Proteção de fontes e nascentes

LABSED

Data

Amostra: FP-1

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

46,25

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

39,0760

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

7,3200

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

46,3960

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

0,9969

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	7,2998	7,1534	0,1464	0,0140	0,7000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	9,4458	9,3134	0,1324	0,0066	0,3300
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,1297	8,0039	0,1258	0,0093	0,4650
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,1753	10,0588	0,1165	0,0070	0,3500
<0,004	123:00	246:00	8,3161	8,2066	0,1095	0,1095	5,4750

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,707 - 0,500	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,036	0,04	0,08	0,08	areia média	
0,354 - 0,250	2,14	2,13	4,61	4,69	areia média	
0,250 - 0,177	21,35	21,28	46,02	50,71	areia fina	
0,177 - 0,125	10,4	10,37	22,42	73,12	areia fina	
0,125 - 0,088	3,92	3,91	8,45	81,57	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	1,23	1,23	2,65	84,22	areia mt. fina	
<0,062 (fundo)	7				silte/argila	
0,062 - 0,031	0,7	0,70	1,51	85,73	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,33	0,33	0,71	86,44	silte médio	
0,016 - 0,008	0,465	0,46	1,00	87,45	silte fino	
0,008 - 0,004	0,35	0,35	0,75	88,20	silte mt. fino	
<0,004	5,475	5,46	11,80	100,00	argila	
Total	46,396	46,25	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de Proteção de fontes e nascentes

LABSED

Data

Amostra: FP-2

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

52,55

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

42,6717

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

9,6300

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

52,3017

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

1,0047

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,3920	10,1994	0,1926	0,0157	0,7850
0,031 - 0,016	01:56	03:52	11,2682	11,0913	0,1769	0,0044	0,2200
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,5831	8,4106	0,1725	0,0062	0,3100
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,2837	10,1174	0,1663	0,0063	0,3150
<0,004	123:00	246:00	8,2073	8,0473	0,1600	0,1600	8,0000

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,707 - 0,500	0,0017	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,05	0,05	0,10	0,10	areia média	
0,354 - 0,250	1,25	1,26	2,39	2,49	areia média	
0,250 - 0,177	22,15	22,26	42,35	44,84	areia fina	
0,177 - 0,125	14,21	14,28	27,17	72,01	areia fina	
0,125 - 0,088	3,45	3,47	6,60	78,60	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	1,56	1,57	2,98	81,59	areia mt. fina	
<0,062 (areia)	0,71				silte/argila	
0,062 - 0,031	0,785	0,79	1,50	83,09	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,22	0,22	0,42	83,51	silte médio	
0,016 - 0,008	0,31	0,31	0,59	84,10	silte fino	
0,008 - 0,004	0,315	0,32	0,60	84,70	silte mt. fino	
<0,004	8	8,04	15,30	100,00	argila	
Total	52,3017	52,55	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho							
Projeto: Área de Proteção de fontes e nascentes							
Data							
Amostra: F4-1				Massa dispersante (g)		0,50	
Antes da separação granulométrica				*Após a separação granulométrica*			
Massa total inicial - Mi (g)		43,42		Partículas 4,000 - 0,062 (g)		30,5796	
Massa dos seixos (g)				Partículas menores 0,062 (g)		12,7500	
Eliminação ataque químico (g)				Massa total final - Mf (g)		43,3296	
Volume da proveta - Vp (ml)		1000		Fator de correção Mi/Mf		1,0021	
PIPETAGEM							
Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	11,0385	10,7835	0,2550	0,0184	0,9200
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,5361	10,2995	0,2366	0,0092	0,4600
0,016 - 0,008	07:44	15:28	9,8891	9,6617	0,2274	0,0105	0,5250
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,4846	10,2677	0,2169	0,0082	0,4100
<0,004	123:00	246:00	10,5055	10,2968	0,2087	0,2087	10,4350
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo		
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo		
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	0,0054	0,01	0,01	0,01	areia grossa		
0,707 - 0,500	0,0042	0,00	0,01	0,02	areia grossa		
0,500 - 0,354	0,06	0,06	0,14	0,16	areia média		
0,354 - 0,250	1,3	1,30	3,00	3,16	areia média		
0,250 - 0,177	12,31	12,34	28,41	31,57	areia fina		
0,177 - 0,125	10,96	10,98	25,29	56,87	areia fina		
0,125 - 0,088	3,98	3,99	9,19	66,05	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	1,96	1,96	4,52	70,57	areia mt.fina		
<0,062 (areia)	1,38				silte/argila		
0,062 - 0,031	0,92	0,92	2,12	72,70	silte grosso		
0,031 - 0,016	0,46	0,46	1,06	73,76	silte médio		
0,016 - 0,008	0,525	0,53	1,21	74,97	silte fino		
0,008 - 0,004	0,41	0,41	0,95	75,92	silte mt. fino		
<0,004	10,435	10,46	24,08	100,00	argila		
Total	43,3296	43,42	100,00				

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de Proteção de fontes e nascentes

LABSED

Data

Amostra: F4-2

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

42,39

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

29,6927

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

11,1100

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

40,8027

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

1,0389

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	7,5840	7,3618	0,2222	0,0163	0,8150
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,0163	7,8104	0,2059	0,0116	0,5800
0,016 - 0,008	07:44	15:28	9,9874	9,7931	0,1943	0,0095	0,4750
0,008 - 0,004	31:00	62:00	11,1929	11,0081	0,1848	0,0045	0,2250
<0,004	123:00	246:00	10,4939	10,3136	0,1803	0,1803	9,0150

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0,7718	0,80	1,89	1,89	grânulo	
2,830 - 2,000	0,0683	0,07	0,17	2,06	grânulo	
2,000 - 1,410	0,0843	0,09	0,21	2,27	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0,1483	0,15	0,36	2,63	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0,1	0,10	0,25	2,87	areia grossa	
0,707 - 0,500	0,09	0,09	0,22	3,09	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,13	0,14	0,32	3,41	areia média	
0,354 - 0,250	1,69	1,76	4,14	7,56	areia média	
0,250 - 0,177	12,72	13,21	31,17	38,73	areia fina	
0,177 - 0,125	7,99	8,30	19,58	58,31	areia fina	
0,125 - 0,088	4,25	4,42	10,42	68,73	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	1,65	1,71	4,04	72,77	areia mt. fina	
<0,062 (areia)	0,94				silte/argila	
0,062 - 0,031	0,815	0,85	2,00	74,77	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,58	0,60	1,42	76,19	silte médio	
0,016 - 0,008	0,475	0,49	1,16	77,35	silte fino	
0,008 - 0,004	0,225	0,23	0,55	77,91	silte mt. fino	
<0,004	9,015	9,37	22,09	100,00	argila	
Total	40,8027	42,39	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

Data

Amostra: F5-1

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

48,35

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

36,3419

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

12,3000

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

48,6419

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

0,9940

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,5022	10,2562	0,2460	0,0255	1,2750
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,017	7,7965	0,2205	-0,0040	-0,2000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	7,937	7,7125	0,2245	0,0195	0,9750
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,1476	9,9426	0,2050	0,0070	0,3500
<0,004	123:00	246:00	7,8386	7,6406	0,1980	0,1980	9,9000

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	0,0015	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,707 - 0,500	0,0038	0,00	0,01	0,01	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,0366	0,04	0,08	0,09	areia média	
0,354 - 0,250	1,4	1,39	2,88	2,96	areia média	
0,250 - 0,177	15,45	15,36	31,76	34,73	areia fina	
0,177 - 0,125	13,11	13,03	26,95	61,68	areia fina	
0,125 - 0,088	4,16	4,14	8,55	70,23	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	2,18	2,17	4,48	74,71	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	1,36				silte/argila	
0,062 - 0,031	1,275	1,27	2,62	77,33	silte grosso	
0,031 - 0,016	-0,2	-0,20	-0,41	76,92	silte médio	
0,016 - 0,008	0,975	0,97	2,00	78,93	silte fino	
0,008 - 0,004	0,35	0,35	0,72	79,65	silte mt. fino	
<0,004	9,9	9,84	20,35	100,00	argila	
Total	48,6419	48,35	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

LABSED
Geotecnia USP

Data

Amostra: F5-2

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

50,32

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

36,5555

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

14,0700

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

50,6255

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

0,9940

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g) Mt	M. frasco (g) Mfr	M. alíquota (g) Mt-Mfr-D	M. suspens aliq (g) Ms	M susp. total (g) Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	7,7942	7,5128	0,2814	0,0167	0,8350
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,6132	10,3485	0,2647	0,0105	0,5250
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,6074	10,3532	0,2542	0,0113	0,5650
0,008 - 0,004	31:00	62:00	11,0671	10,8242	0,2429	0,0078	0,3900
<0,004	123:00	246:00	8,4105	8,1754	0,2351	0,2351	11,7550

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0,1393	0,14	0,28	0,28	grânulo	
2,830 - 2,000	0,0415	0,04	0,08	0,36	grânulo	
2,000 - 1,410	0,0494	0,05	0,10	0,45	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0,056	0,06	0,11	0,57	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0,05	0,05	0,10	0,66	areia grossa	
0,707 - 0,500	0,0105	0,01	0,02	0,68	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,0588	0,06	0,12	0,80	areia média	
0,354 - 0,250	1,83	1,82	3,61	4,42	areia média	
0,250 - 0,177	18,82	18,71	37,17	41,59	areia fina	
0,177 - 0,125	8,48	8,43	16,75	58,34	areia fina	
0,125 - 0,088	4,9	4,87	9,68	68,02	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	2,12	2,11	4,19	72,21	areia mt. fina	
<0,062 (fundo)	1,71				silte/argila	
0,062 - 0,031	0,835	0,83	1,65	73,86	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,525	0,52	1,04	74,89	silte médio	
0,016 - 0,008	0,565	0,56	1,12	76,01	silte fino	
0,008 - 0,004	0,39	0,39	0,77	76,78	silte mt. fino	
<0,004	11,755	11,88	23,22	100,00	argila	
Total	50,6255	50,32	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

Data

LABSED

Amostra: F6-1

Massa dispersante (g)

0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g)

48,09

Partículas 4,000 - 0,062 (g)

31,2165

Massa dos seixos (g)

Partículas menores 0,062 (g)

17,3400

Eliminação ataque químico (g)

Massa total final - Mf (g)

48,5565

Volume da proveta - Vp (ml)

1000

Fator de correção Mi/Mf

0,9904

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. aliquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,8272	10,4804	0,3468	0,0200	1,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	9,4049	9,0781	0,3268	0,0103	0,5150
0,016 - 0,008	07:44	15:28	9,6909	9,3744	0,3165	0,0086	0,4300
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,0091	7,7012	0,3079	0,0083	0,4150
<0,004	123:00	246:00	10,1592	9,8596	0,2996	0,2996	14,9800

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,707 - 0,500	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,0365	0,04	0,08	0,08	areia média	
0,354 - 0,250	1,01	1,00	2,08	2,16	areia média	
0,250 - 0,177	11,9	11,79	24,51	26,66	areia fina	
0,177 - 0,125	12,24	12,12	25,21	51,87	areia fina	
0,125 - 0,088	3,9	3,86	8,03	59,90	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	2,13	2,11	4,39	64,29	areia mt. fina	
<0,062 (fundo)	1,8				silte/argila	
0,062 - 0,031	1	0,99	2,06	66,35	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,515	0,51	1,06	67,41	silte médio	
0,016 - 0,008	0,43	0,43	0,89	68,29	silte fino	
0,008 - 0,004	0,415	0,41	0,85	69,15	silte mt. fino	
<0,004	14,98	14,84	30,85	100,00	argila	
Total	48,5565	48,09	100,00			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PIPETAGEM E PENEIRAMENTO

IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Virginia Maria Tezzoni Coelho

Projeto: Área de proteção de fontes e nascentes

Data

Amostra: F6-2 Massa dispersante (g) 0,50

Antes da separação granulométrica

Após a separação granulométrica

Massa total inicial - Mi (g) 48,2 Partículas 4,000 - 0,062 (g) 34,2080

Massa dos seixos (g) Partículas menores 0,062 (g) 15,2350

Eliminação ataque químico (g) Massa total final - Mf (g) 49,4430

Volume da proveta - Vp (ml) 1000 Fator de correção Mi/Mf 0,9749

PIPETAGEM

Granulometria (mm)	Tempo (min:s)	M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens alíq (g)	M susp. total (g)
	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,4353	10,1306	0,3047	0,0253
0,031 - 0,016	01:56	03:52	7,9988	7,7194	0,2794	0,0081
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,101	7,8297	0,2713	0,0149
0,008 - 0,004	31:00	62:00	9,7646	9,5082	0,2564	0,0085
<0,004	123:00	246:00	11,0543	10,8064	0,2479	0,2479

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp. massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,410 - 1,000	0	0,00	0,00	0,00	areia mt. grossa	
1,000 - 0,707	0	0,00	0,00	0,00	areia grossa	
0,707 - 0,500	0,008	0,01	0,02	0,02	areia grossa	
0,500 - 0,354	0,47	0,46	0,95	0,97	areia média	
0,354 - 0,250	1,26	1,23	2,55	3,52	areia média	
0,250 - 0,177	14,54	14,17	29,41	32,92	areia fina	
0,177 - 0,125	10,43	10,17	21,09	54,02	areia fina	
0,125 - 0,088	5,47	5,33	11,06	65,08	areia mt. fina	
0,088 - 0,062	2,03	1,98	4,11	69,19	areia mt. fina	
<0,062 (fundo)	1,57				silte/argila	
0,062 - 0,031	1,265	1,23	2,56	71,75	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,405	0,39	0,82	72,56	silte médio	
0,016 - 0,008	0,745	0,73	1,51	74,07	silte fino	
0,008 - 0,004	0,425	0,41	0,86	74,93	silte mt. fino	
<0,004	12,395	12,08	25,07	100,00	argila	
Total	49,443	48,20	100,00			