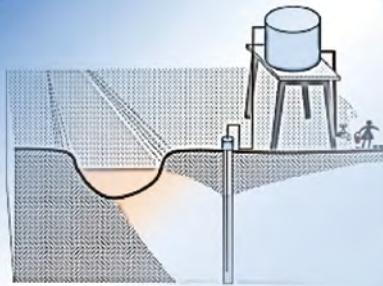


Ramon Lucas Dalsasso  
Tiago Lemos Guedes



**FUNASA**

**MANUAL DE OPERAÇÃO E  
MANUTENÇÃO DE SISTEMAS  
DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
POR FILTRAÇÃO EM MARGEM**

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE

Ramon Lucas Dalsasso

Tiago Lemos Guedes

# **MANUAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO EM MARGEM**

*Copiart*

Tubarão-SC, 2018

2018. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.



Esta obra é disponibilizada nos termos da Licença Creative Commons – Atribuição – Não Comercial – Compartilhamento pela mesma licença 4.0 Internacional. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte. A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, na Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde: <[www.saude.gov.br/bvs](http://www.saude.gov.br/bvs)>.

A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, na Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde: <http://www.gov.br/bvs>.

Tiragem: 1ª edição - 2018 - 200 exemplares

**Elaboração, distribuição e informações:**

MINISTÉRIO DA SAÚDE

Fundação Nacional de Saúde

Departamento de Engenharia de Saúde Pública (Densp)

Coordenação Geral de Cooperação Técnica em Saneamento (Cgcot)

Coordenação de Informação e Tecnologia em Saneamento (Codet)

Edifício PO 700 - Setor de Rádio e Televisão Norte (SRTVN) - Quadra 701 - Lote D - 2º andar - Asa Norte - Brasília/DF -

Tel.: (61) 3314-6233

Home page: <http://www.funasa.gov.br>

**Apoio:**

Esta publicação é um dos produtos da pesquisa "Tratamento de água por Filtração em Margem para o abastecimento de populações dispersas e pequenas comunidades – TAFMAPC", desenvolvida com recursos do Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento da Funasa.

**Autores do texto:**

Ramon Lucas Dalsasso

Tiago Lemos Guedes

**Capa, projeto gráfico e diagramação:**

Rita Motta, sob coordenação da Gráfica e Editora Copiart

Impresso no Brasil / *Printed in Brazil*

**Ficha Catalográfica**

---

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.

Manual de operação e manutenção de sistemas de tratamento de água por filtração em margem/ Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

57 p. : il.

ISBN . 978-85-8388-121-6

1. Saneamento básico. 2. Saneamento ambiental. 3. Tratamento de água. I. Título.

CDU.628.1

---

Catalogação na fonte – Divisão de Museu e Biblioteca – Funasa

**Títulos para indexação**

Em inglês: Operation and maintenance manual for water treatment systems by bank filtration

Em espanhol: Manual de operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas por filtración em margen

# Sumário

1	APRESENTAÇÃO	5
2	CARACTERÍSTICAS DO PROJETO	7
	2.1 Unidade de Controle de Energia	8
	2.2 Manômetro	8
	2.3 Válvula de Retenção	8
	2.4 Hidrômetro	8
	2.5 Tubo para Inserção do Medidor de Nível	8
	2.6 Torneiras T1 e T2	8
	2.7 Registros R1, R2 e R3	9
	2.8 Rotâmetro	9
	2.9 Clorador de Pastilhas	9
	2.10 Registro R4	9
	2.11 Registro R5	9
	2.12 Registro R6	9
	2.13 Registro R7	9
3	ASPECTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	10
	3.1 Volume Bombeado	11
	3.2 Funcionamento da Motobomba	12
	3.3 Níveis Estático e Dinâmico do Poço	12
	3.4 Teste de Bombeamento	15
	3.5 Medir o Teor de Areia	15
	3.6 Verificar os Componentes do Sistema	16
	3.7 Observação das Condições Climáticas	17
	3.8 Controle do Estoque de Cloro	17
	3.9 Análises Físico-Químicas de Rotina	17
	3.10 Análise Físico-Química completa + Bacteriológica	17
	3.11 Limpeza do Reservatório	18
	3.12 Verificar as Pastilhas no Clorador	19
	3.13 Processamento de Dados e Interpretação	19
4	CRITÉRIOS DE ESCOLHA DO LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DA FILTRAÇÃO EM MARGEM	20
5	ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA DO LOCAL DA FILTRAÇÃO EM MARGEM	21
6	FASES DO PROCESSO DE ESCOLHA DO LOCAL DA FILTRAÇÃO EM MARGEM	23

6.1 FASE 1 – Análise visual	23
6.1.1 Relevô	23
6.1.2 Geometria Local	26
6.1.3 Propriedades do leito do rio	27
6.2 FASE 2 – Coleta e análise de dados	28
6.2.1 Dados topográficos	28
6.2.2 Dados hidrográficos / hidrológicos	28
6.2.3 Acessos	30
6.3 FASE 3 – Locação do poço e furos de sondagem	30
6.4 FASE 4 – Escolha final do local para implantação do(s) poço(s)	32
<b>7 METODOLOGIAS</b>	<b>38</b>
7.1 Determinação da velocidade média do rio	38
7.1.1 Método do flutuador	38
7.1.2 Método do molinete	39
7.2 Determinação do diâmetro médio de Sauter	41
7.3 Determinação do coeficiente de permeabilidade por ensaios de infiltração	42
7.4 Determinação do IQA	43
<b>8 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES</b>	<b>48</b>
8.1 Presença de metais em poços de filtração em margem	48
8.1.1 Ferro	48
8.1.2 Manganês	50
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>55</b>
APÊNDICE 1 – Procedimentos para Leitura do Hidrômetro do Poço	55
APÊNDICE 2 – Planilhas de Controle de Operação	56
APÊNDICE 3 – Procedimentos para Medição da Profundidade do Nível da Água no Poço	59
APÊNDICE 4 – Procedimentos para Determinação da Quantidade de Areia e Outros Materiais Sedimentáveis na Água do Poço Utilizando um Cone Imhoff	60
APÊNDICE 5 – Procedimentos para Determinação do Cloro Residual e Temperatura da Água	61
APÊNDICE 6 – Procedimentos para Limpeza de Reservatório de Água de Abastecimento	63
APÊNDICE 7 – Procedimentos para verificação das Pastilhas do Clorador	64



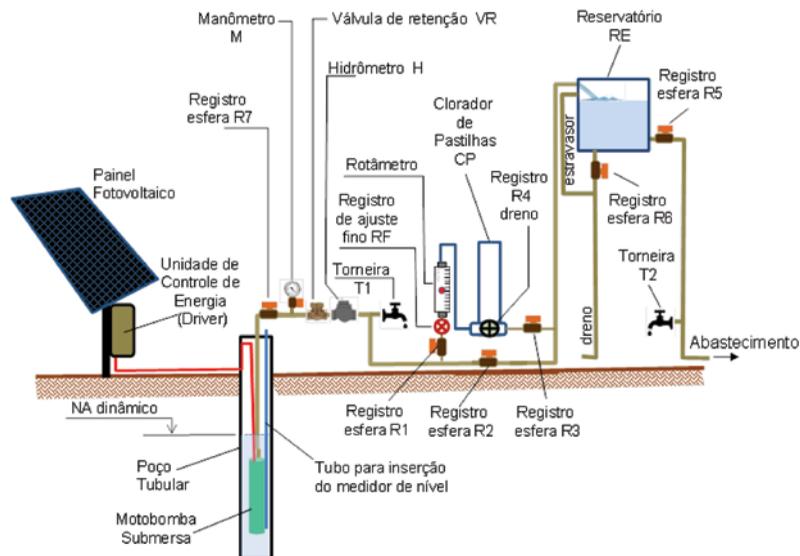
O tratamento de água para abastecimento, utilizando a técnica de filtração em margem, resume-se basicamente na extração, por bombeamento, de água subterrânea através de um ou mais poços, localizados frequentemente próximo da margem de um rio, com encaminhamento desta água para um reservatório de distribuição, recebendo antes algum produto para desinfecção. Eventualmente pode ser necessário algum tratamento complementar para adequar a qualidade da água aos padrões exigidos para consumo humano, como por exemplo: ajuste de pH; remoção de ferro ou manganês; remoção de odores, entre outros, cada um com necessidades específicas em termos de instalações e equipamentos.

A qualidade da água obtida por filtração em margem depende muito da escolha do local onde a mesma ocorrerá, portanto, nesse manual, é considerado que o sistema fora instalado em local adequado à obtenção de água que necessite apenas a etapa de desinfecção.

A extração de água subterrânea por filtração em margem requer uma fonte de energia para o bombeamento, e considerando a possibilidade de implantação de sistemas desse tipo, em áreas desprovidas de redes de distribuição de energia elétrica por concessionárias, trabalha-se com o bombeamento fotovoltaico. A utilização de banco de baterias permitiria o bombeamento fora dos períodos de sol, contudo esse recurso foi descartado para reduzir o número de componentes passíveis de manutenção.

O fornecimento de água de forma segura e regular depende das condições de operação e manutenção do sistema. As atividades de operação são baseadas em manobras de válvulas e outros acessórios, inspeção do sistema de desinfecção e aplicação de produtos químicos, inspeção das condições de funcionamento de motobombas, medições e registros periódicos de informações, que permitem avaliar o comportamento do sistema em termos de quantidade e qualidade da água produzida, além do estado de funcionamento de equipamentos, consumo de energia e de produtos químicos, com o objetivo de programar ações de correção e manutenção preventiva, evitando interrupções e gastos desnecessários.

Nesse manual são abordados conteúdos sobre a operação e manutenção de um sistema de tratamento por filtração em margem composto pelos seguintes elementos principais: Poço de produção; Sistema de bombeamento fotovoltaico (havendo condições, a energia pode ser fornecida por uma concessionária); Sistema de desinfecção e Reservatório de distribuição. A representação esquemática desse sistema é a Figura 1. O sistema pode fornecer água conforme a necessidade de abastecimento, observando que o clorador tenha sempre a quantidade adequada de pastilhas.



**Figura 1** – Representação esquemática de um sistema de tratamento de água por filtração em margem, com bombeamento fotovoltaico

Fonte: O autor

Em relação a Figura 1 são feitas várias referências nesse manual, por isso desde já é importante descrever a função de cada um dos componentes.

## **2.1 Unidade de Controle de Energia**

Possui a função de gerenciar a energia gerada pelo painel fotovoltaico, eventualmente convertendo corrente contínua em alternada, responsável pelo funcionamento da motobomba. Essa unidade possui sinais luminosos (LEDs) indicando o estado de operação da motobomba (normal/fora de operação). Geralmente possui comunicação com sensores de fluxo, para desligar a bomba em caso do nível dinâmico do poço muito baixo.

## **2.2 Manômetro**

Utilizado para leitura da pressão na linha de recalque.

## **2.3 Válvula de Retenção**

Impede, de forma automática, o retorno da água quando a bomba para de funcionar, impedindo situações como a possível retomada de funcionamento da bomba com a mesma em reverso de rotação com potenciais danos ao motor, entrada de ar da tubulação de recalque implicando em erros da medição do volume bombeado e possível comprometimento do sistema de dosagem de cloro.

## **2.4 Hidrômetro**

Registra o volume de água bombeado diariamente, informação básica para estimar a vazão média de bombeamento.

## **2.5 Tubo para Inserção do Medidor de Nível**

É utilizado para para inserir o leitor de profundidade para determinar a posição do nível da água.

## **2.6 Torneiras T1 e T2**

Pontos de coleta de amostras de água para análises e controle da qualidade. A T1 permite a coleta de água com as características que a mesma sai do poço, e T2, após a desinfecção, e que será distribuída para consumo.

## 2.7 Registros R1, R2 e R3

São utilizados para regular a quantidade de água que passa pelo clorador, controlando assim a quantidade de cloro adicionada na água.

## 2.8 Rotâmetro

É utilizado para medir a quantidade de água que passa pelo clorador. Para melhorar a regulagem dessa quantidade, é utilizado um registro de ajuste fino **RF**, situado antes da entrada da água no rotâmetro.

## 2.9 Clorador de Pastilhas

Parte do sistema de dosagem de cloro, onde são colocadas as pastilhas de hipoclorito de cálcio para serem dissolvidas pela passagem da água.

## 2.10 Registro R4

É utilizado para drenar o clorador durante uma atividade de limpeza ou reposição de pastilhas.

## 2.11 Registro R5

É utilizado para isolar o reservatório da rede de distribuição em atividades de limpeza e/ou manutenção do reservatório e rede.

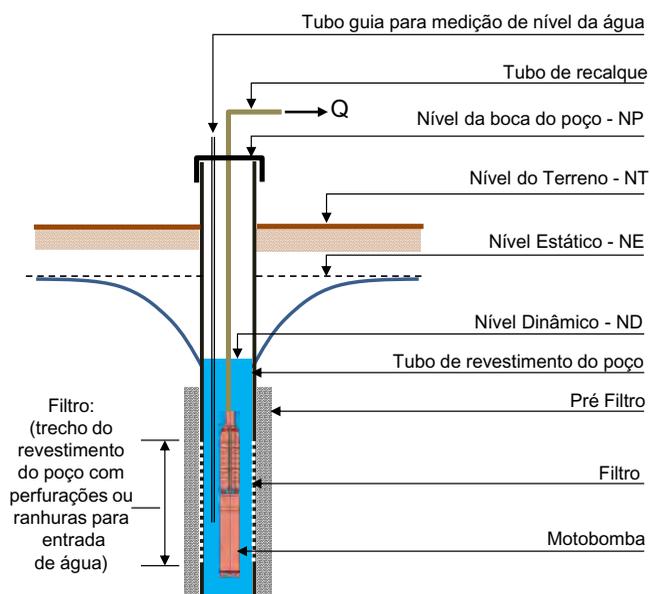
## 2.12 Registro R6

É utilizado para esvaziar total ou parcialmente o reservatório em caso de limpeza e/ou manutenção.

## 2.13 Registro R7

É utilizado para controlar a vazão de saída do poço.

Na descrição das atividades de operação e manutenção, são feitas várias referências a elementos constituintes do sistema, tais como: níveis da água dentro do poço, estático e dinâmico, filtro, entre outros. Para facilitar o entendimento das atividades envolvendo diferentes partes do sistema, ilustrações como a Figura 2, são intercaladas no texto.



**Figura 2** – Representação esquemática em perfil, de um poço tubular, com informações sobre componentes e definição de níveis

Fonte: O autor

A Tabela 1 contém a descrição das atividades de operação e manutenção, e também a frequência recomendada de realização. A descrição detalhada de cada uma delas, justificativa e modo de realização, são apresentadas na sequência, na ordem em que aparecem na Tabela citada.

**Tabela 1** – Atividades de operação e manutenção e sua respectiva frequência de realização

Medições e atividades	Frequência				
	diária	semanal	mensal	semestral	anual
Volume bombeado	X				
Funcionamento da motobomba		X			
Profundidade do Nível estático do poço			X		
Profundidade do Nível dinâmico do poço			X		
*Teste de bombeamento					X
*Medir o teor de areia					X
Verificar os componentes do sistema	X				
Observação das condições climáticas	X				
Controle de estoque de cloro			X		
Análise Físico-Química – FQ de rotina	X				
Análise completa: FQ + bacteriológico					X
Limpeza do reservatório				X	
Verificar as pastilhas no clorador		X			
Processamento de dados /interpretação			X		
Recomendações à manutenção			Sempre que necessário		

\*ou a qualquer tempo de perceber alguma alteração no rebaixamento específico

### 3.1 Volume Bombeado

O controle do volume bombeado permite, juntamente com o tempo de funcionamento das bombas, calcular a vazão extraída do poço. Adicionalmente, considerando os níveis estático e dinâmico, permite calcular a vazão específica, ou seja, o volume bombeado por metro de rebaixamento do nível de água no poço. Essas informações são úteis para identificar possíveis problemas relacionados com incrustações no filtro, e movimentação de materiais finos no aquífero.

Normalmente a medição do volume bombeado é feita utilizando um hidrômetro velocimétrico. A **leitura do volume bombeado deve ser feita diariamente, sempre no mesmo horário, após o término do bombeamento**, e no caso do sistema de bombeamento fotovoltaico proposto, no horário do pôr do sol. A forma de realização da leitura é ilustrada no **Apêndice 1**. O valor lido deve ser registrado na planilha 1 (ver **Apêndice 2**).

### 3.2 Funcionamento da Motobomba

O controle do início e fim do funcionamento da motobomba deve ser feito semanalmente, observando a presença do sol, e a movimentação dos dígitos no hidrômetro, ou seja, fazer a leitura se existir bombeamento, senão tente fazer em outro dia. No sistema de bombeamento fotovoltaico, sem banco de baterias, vazão horária bombeada é variável em função das condições de radiação relacionada a presença de nuvens ou chuva. A vazão máxima bombeada ocorre geralmente, entre 12h e 14h, quando a radiação incidente sobre os painéis também é máxima, e isso implica no rebaixamento máximo do nível de água no poço. **IMPORTANTE:** nesse dia fazer a leitura do hidrômetro no início e fim do período de observação, anotando todas as informações na planilha 2 (**Apêndice 2**).

### 3.3 Níveis Estático e Dinâmico do Poço

Essa medição deve ser feita mensalmente. Fazer a medição da profundidade do Nível Estático – NE sempre pela manhã, antes do início do funcionamento da motobomba, horário em que o nível de água no poço deve estar completamente recuperado. A motobomba só vai funcionar após o nascer do sol, portanto, escolha um dia com previsão de sol para fazer essa leitura. A profundidade do Nível Dinâmico – ND deve ser lida entre 13h e 14h, quando a vazão de bombeamento deve atingir o seu valor máximo, portanto, o rebaixamento também será máximo. **IMPORTANTE:** O dia dessa medição pode ser o mesmo dia em que fez as leituras para verificar o funcionamento da bomba anteriormente descrito, aproveitando a leitura do hidrômetro no início e fim do período de observação, anotando todas as informações na planilha 2 (**Apêndice 2**). A leitura do nível de água no poço é feita com o equipamento e procedimentos indicados no **Apêndice 3**.

A profundidade do nível estático **PE** será a distância medida entre a boca do poço e o nível da água dentro do poço, em horário sem bombeamento.

A profundidade do nível dinâmico **PD** será a distância medida entre a boca do poço e o nível da água dentro do poço, em horário com bombeamento máximo.

Com as informações de volume bombeado, profundidades dos níveis de água no poço e horários, anteriormente descritos, é possível realizar alguns cálculos importantes sobre as condições de funcionamento do poço e sistema de bombeamento.

O volume bombeado é calculado pela equação (1):

$$VB = V - VA \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

VB = volume bombeado (m<sup>3</sup>)

V = leitura atual do hidrômetro (m<sup>3</sup>)

VA = leitura anterior do hidrômetro (m<sup>3</sup>)

**Exemplo 1:**  $V = 23,45 \text{ m}^3$  (a última leitura feita, a mais atual)

$VA = 19,25 \text{ m}^3$  (leitura do dia anterior ou da hora anterior)

$VB = 23,45 - 19,25 = 4,2 \text{ m}^3$

OBS: O valor de V deve ser sempre maior que o de VA. Para as leituras de hidrômetro feitas nas atividades de verificação do funcionamento da bomba e verificações da profundidade do nível dinâmico, o volume bombeado será referido em m<sup>3</sup>/h, pois as leituras serão feitas entre 12h e 14h.

**Exemplo 2:** Suponha que no Exemplo 1, a leitura do hidrômetro  $V = 23,45 \text{ m}^3$  tenha sido feita às 14h e a leitura  $VA = 19,25 \text{ m}^3$  tenha sido feita às 12h. Também considere que a profundidade lida do nível estático tenha sido  $PE = 4,00 \text{ m}$  e a profundidade do nível dinâmico tenha sido  $PD = 8,00 \text{ m}$ .

A vazão bombeada no período observado, será a máxima vazão horária daquele dia, e é calculada com a equação (2):

$$QH_{\text{máx}} = (V - VA) / \Delta t \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

$QH_{\text{máx}}$  = vazão máxima horária no período observado ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$\Delta t$  = período de tempo de observação (h)

Aplicando a equação resulta:

$$QH_{\text{máx}} = (23,45 - 19,25) / (14\text{h} - 12\text{h}) = 2,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

O rebaixamento do nível de água no poço "S" é calculado com a equação (3):

$$S = PD - PE \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

S = rebaixamento (m)

Aplicando a equação, resulta:  $S = 8,00 - 4,00 = 4,00 \text{ m}$

A vazão específica do poço "Qe" é calculada com a equação (4):

$$Q_e = QH_{\text{máx}} / S \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:

$Q_e$  = vazão específica ( $\text{m}^3/\text{h.m}$ )

Aplicando a equação, resulta:  $Q_e = 2,1 / 4,00 = 0,525 \text{ m}^3/\text{h.m}$

A vazão específica deve se manter constante ao longo do tempo de utilização do poço. Diminuição do valor de  $Q_e$  geralmente está associada com problemas de incrustação no filtro do poço ou colmatação do pré filtro. Por outro lado, aumento do valor de  $Q_e$  geralmente está associado com movimentação de material fino no aquífero, que pode ser arrastado para o interior do poço, e decorre de deficiências durante o desenvolvimento do poço.

É importante o cálculo e registro dessas informações em planilha, e identificadas alterações, reportá-las ao responsável superior, para avaliação e definição das providências necessárias.

### 3.4 Teste de Bombeamento

Esse teste deverá ser executado por equipe especializada, pois demandará alterações no sistema de bombeamento. O teste permite avaliar a curva característica do poço, identificar as possíveis causas da alteração e coletar dados para uma nova curva. Mudanças no valor da vazão específica, são um tipo de constatação que demanda a realização de teste de bombeamento após alguma intervenção de manutenção no poço.

### 3.5 Medir o Teor de Areia

A realização desse teste permite detectar a presença de materiais finos na água bombeada. Este material pode ser composto por argilas siltes e areia fina, presente na composição do aquífero ou mesmo remanescentes da fase de construção do poço. Aumento na vazão específica pode estar relacionado com a presença desse material na água do poço. É recomendável a realização desse teste anualmente, ou quando observar a presença de material sedimentável nas amostras de água coletadas na saída do poço, na torneira T1 (ver Figura 1). Para a realização desse teste é utilizado um cone Imhoff e os procedimentos constantes no **Apêndice 4**. Valores na faixa de 10 a 20 ppm geralmente são tolerados pelos conjuntos motobombas, mas precisa ter cautela, pois a presença de areia pode estar relacionada com outros problemas no poço (JORBA e ROCHA, 2007). Registrar os valores observados na planilha 2 (**Apêndice 2**).

### 3.6 Verificar os Componentes do Sistema

As condições de conservação e funcionamento dos componentes do sistema devem ser observadas diariamente, e qualquer anormalidade registrada na planilha 1 (**Apêndice 2**), mesmo que tenha resolvido o problema. Se não conseguir resolver, reportar a situação a responsável superior. Os pontos de verificação recomendados são os seguintes:

- Escutar possíveis ruídos produzidos pela motobomba, especialmente no momento da partida. Colocar também a mão na tubulação de recalque, logo na saída do poço, procurando sentir se existem vibrações diferentes do normal.
- Escutar também a unidade de controle de energia (Driver) e tocá-la. Pode ser que sinta a carcaça levemente aquecida, isso pode ocorrer em função da presença de dissipadores de energia no interior da mesma e ser um comportamento normal. Contudo, ruídos e vibrações não devem ocorrer. Verificar também se luzes indicadoras de funcionamento anormal não estão acesas ou piscando. Problemas nesse tipo de sistema geralmente são de ordem elétrica ou eletrônica, impedem o funcionamento da motobomba, e necessitam de assistência técnica especializada. Portanto ao primeiro sinal de anormalidade, comunicar o responsável superior.
- Inspecionar tubulações e conexões procurando por vazamentos.
- Observar o estado de conservação do manômetro e se está indicando a pressão esperada. Verifique se o vidro do indicador do manômetro não está quebrado, isso pode afetar o funcionamento devido a entrada de água. **Mas atenção:** no bombeamento fotovoltaico a pressão é variável ao longo do dia, e será máxima em dias de sol com céu limpo, e no período entre 12h e 14h. Portanto, ao comparar valores de pressão, certifique-se que são leituras feitas em dias e horários com condições de sol similares.
- Verificar se o rotâmetro do clorador se movimenta com a variação da vazão, sendo esse o comportamento esperado.
- Verificar se os dígitos do hidrômetro se movem quando a motobomba está ligada, e se o visor não está quebrado, pois isso pode afetar o funcionamento devido a entrada de água.

### 3.7 Observação das Condições Climáticas

Observar e anotar diariamente na planilha 1 (**Apêndice 2**) as condições do tempo, classificando-o como: Ensolarado, Parcialmente Nublado, Nublado e Chuvoso. Registrar também a ocorrência de ventos fortes e descargas atmosféricas (raios), pois essas ocorrências podem afetar de alguma forma o sistema fotovoltaico.

### 3.8 Controle do Estoque de Cloro

O único produto químico a ser utilizado deverá ser um desinfectante, sendo proposto o uso de Hipoclorito de Cálcio, em pastilhas, que devem ser convenientemente armazenados em tambores plásticos, próprios para este fim, que devem ser mantidos fechados, em local ventilado, protegido da luz do sol e da chuva. Fazer mensalmente uma conferência da quantidade disponível em estoque e registrar os valores na planilha 3 (**Apêndice 2**).

### 3.9 Análises Físico-Químicas de Rotina

Fazer diariamente coletas de amostra de água nas torneiras T1 e T2.

Na amostra T1: observar o aspecto cor e a presença de materiais sedimentáveis no frasco de coleta. Medir a temperatura da água e o pH.

Na amostra T2: observar o aspecto cor e a presença de materiais sedimentáveis no frasco de coleta. Medir a temperatura da água, o pH e a quantidade de cloro livre. Os procedimentos para a coleta e análise dessas amostras estão no Apêndice 5. Os resultados obtidos devem ser registrados na planilha 1 (**Apêndice 2**).

### 3.10 Análise Físico-Química completa + Bacteriológica

Fazer anualmente, ou a qualquer tempo, se observar alteração na qualidade da água em termos de cor, odor ou sabor. Os parâmetros a serem analisados irão depender da qualidade da água, variável de um local para outro. Na etapa de escolha do local para implantação do poço, são feitas análises, as quais servirão de base para essa definição, e caberá a equipe técnica responsável por essa atividade avaliar a conveniência de incluir ou excluir parâmetros. Como sugestão, os seguintes: pH; potencial redox; temperatura; oxigênio dissolvido; condutividade elétrica; sólidos totais

dissolvidos; cor aparente e cor verdadeira; turbidez; dureza total; carbono orgânico total; nitrogênio total; fósforo total; cloretos; coliformes totais e termo tolerantes; ferro; manganês. As amostras deverão ser coletadas na torneira T1, por pessoal capacitado e encaminhadas para um laboratório para análise. Os resultados deverão ser devidamente registrados e repassados ao operador do sistema para conhecimento. Também devem ser tomadas as providências cabíveis para ajustes no sistema, se necessário, e repassadas as novas orientações ao operador.

### 3.11 Limpeza do Reservatório

A qualidade da água distribuída deve ser mantida de modo a atender os padrões de qualidade indicados para o consumo humano. Eventuais problemas ocorridos com a qualidade da água do poço, presença de sólidos, cor, entre outros, e também ruptura da tubulação de recalque com entrada de terra e água suja, mesmo que identificados e corrigidos em pouco tempo, podem acarretar em depósito no reservatório, desses materiais. Problemas na tampa do reservatório podem permitir a entrada de materiais trazidos pelo vento como folhas, papel, plástico e poeira. É recomendável que os reservatórios devem ser inspecionados e limpos a cada seis meses, ou conforme necessidade (ANVISA, 2016). Deve-se proceder a limpeza do reservatório respeitando os aspectos de segurança do trabalho referente a espaços confinados, seguindo a NR 31 (segurança e saúde em espaços confinados) (MTE, 2013), e NR 6 (Equipamentos de proteção individual) (MTE, 2017), dispendo de no mínimo, para execução do trabalho, equipamento de comunicação (rádios transmissores, celulares ou qualquer outro meio de comunicação), e dispositivos de iluminação (luminárias de emergência, lanternas, entre outros dispositivos). Também é recomendável o uso de luvas, botas de borracha, máscara para produtos à base de cloro, capacete e cintos de segurança. O procedimento recomendado está indicado no **Apêndice 6**.

Para a desinfecção das paredes e fundo do reservatório, recomenda-se preparar uma solução contendo 50 mg/L de cloro (ANVISA, 2016). A equação (5) permite determinar a quantidade de produto comercial a ser utilizado na preparação dessa solução. Sugere-se o uso do hipoclorito de cálcio com 65% de cloro ativo, mas pode ser utilizado o hipoclorito de sódio com 12% de cloro ativo, ou outro que esteja disponível.

$$P = \frac{T.V}{c.10} \quad \text{equação (5)}$$

Onde:

P = quantidade do produto comercial (gramas)

T = teor de cloro na solução (mg/Litro)

V = volume da solução (Litro)

c = % de cloro ativo no produto usado

10 = constante

### 3.12 Verificar as Pastilhas no Clorador

Verificar semanalmente a quantidade de pastilhas no clorador e repor se necessário. A diminuição na quantidade de cloro livre na água coletada na torneira T2, pode indicar a redução ou falta de pastilha no clorador. Os procedimentos para essa operação estão no **Apêndice 7**.

### 3.13 Processamento de Dados e Interpretação

Mensalmente os dados coletados e registrados nas planilhas devem ser avaliados e comparados com os do mês anterior, para verificar a existência de alguma alteração ou tendência de comportamento em termos de rebaixamento e vazão do poço, no consumo de produto químico ou na qualidade da água. Essas alterações, ocorrendo, devem ser anotadas na planilha de dados, e informadas ao responsável superior.

## 4

A escolha do local é uma etapa fundamental na implantação de um sistema de tratamento de água por Filtração em Margem – FM, e deve ser realizada de forma criteriosa para garantir que em termos quantitativos e qualitativos, a água obtida seja adequada às necessidades do projeto. Este manual tem como objetivo propor diretrizes para auxiliar na escolha de locais para aplicação da técnica de FM.

A Filtração em Margem – FM é uma técnica de captação e tratamento de água, que consiste na construção de poços, ou de trincheiras, próximo às margens de mananciais (rios ou lagos), localizados em aquíferos aluvionais ou formações geológicas não consolidadas, e no bombeamento da água a partir dos mesmos. Ao realizar esse bombeamento, o rebaixamento no nível freático é induzido, fazendo com que a água do manancial migre até o poço, ou até a trincheira, sofrendo um processo de filtração pelo solo durante o percurso. Além da filtração física, ocorrem outros processos como sorção, troca iônica e degradação microbiana. A eficiência do tratamento depende principalmente da geologia do aquífero, composição do fundo do manancial e tempo de percurso até o poço (RAY et al., 2003). A FM tem fornecido resultados positivos quanto ao tratamento de água, sendo que dependendo da qualidade de água do manancial, a técnica é utilizada como tratamento preliminar ou como único tratamento, acrescido apenas de cloração.

Durante a escolha do local para implantação de sistemas de FM, é necessário considerar os aspectos QUANTITATIVOS, referente às condições que possibilitam a extração de um volume considerável de água do manancial, e QUALITATIVOS, referente à qualidade da água tratada por FM.

Os aspectos QUANTITATIVOS estão relacionados com as características hidro geológicas do aquífero (formação geológica; granulometria; coeficiente de permeabilidade; entre outras), ou seja, são aspectos que determinam o potencial produtivo do aquífero.

No processo de filtração em margem o meio filtrante é o próprio material sedimentar das margens e fundo do manancial, e também do aquífero. Ambos os materiais devem ser formados por aluviões, ou por outra formação geológica não consolidada que permita a conexão hidráulica entre a água superficial e a água subterrânea local. Essa conexão hidráulica permite que a água do manancial migre até o poço de FM, e dependendo das características dos sedimentos do aquífero, a quantidade de água proveniente do manancial que chega até o poço será maior ou menor.

A água que chega ao poço, geralmente é uma mistura da água subterrânea originalmente presente no aquífero e da água do manancial infiltrada. A proporção de tal mistura depende principalmente das condições hidrogeológicas locais, da distância entre o poço e a margem do manancial e da vazão bombeada (RAY et al., 2002; HISCOCK; GRISCHEK, 2002; MONDARDO, 2009).

Os aspectos QUALITATIVOS estão relacionados aos fatores que influenciam a qualidade da água durante o processo de tratamento por FM. A qualidade da água proveniente dos poços de FM depende do nível de poluição em que se encontra o manancial superficial (KIM, et al., 2003), mas também da composição química do aquífero. A intensidade do processo de purificação da água depende das características do material granular que compõe o aquífero e das interações biogeoquímicas e físico-químicas que ocorrem no meio filtrante.

Por estes motivos é necessário realizar uma investigação hidrogeológica dos locais a serem implantados os poços de FM. O processo objetiva avaliar as características hidráulicas do manancial e do lençol freático, e avaliar a formação geológica do leito do corpo d'água assim como dos arredores (MONDARDO, 2009; MICHELAN, 2010).

# 6

O processo de escolha do local para implantação de um sistema de FM pode ser dividido em 4 (quatro fases) conforme mostrado na sequência, e detalhadas no item 4.

**FASE 1** – Análise Visual: prospecção em campo com coleta de informações preliminares sobre localização e documentação fográfica para o mapeamento de possíveis locais;

**FASE 2** – Coleta e análise de dados: topográficos, hidrográficos, hidrológicos, e de acessos, de um ou mais locais pré-selecionados;

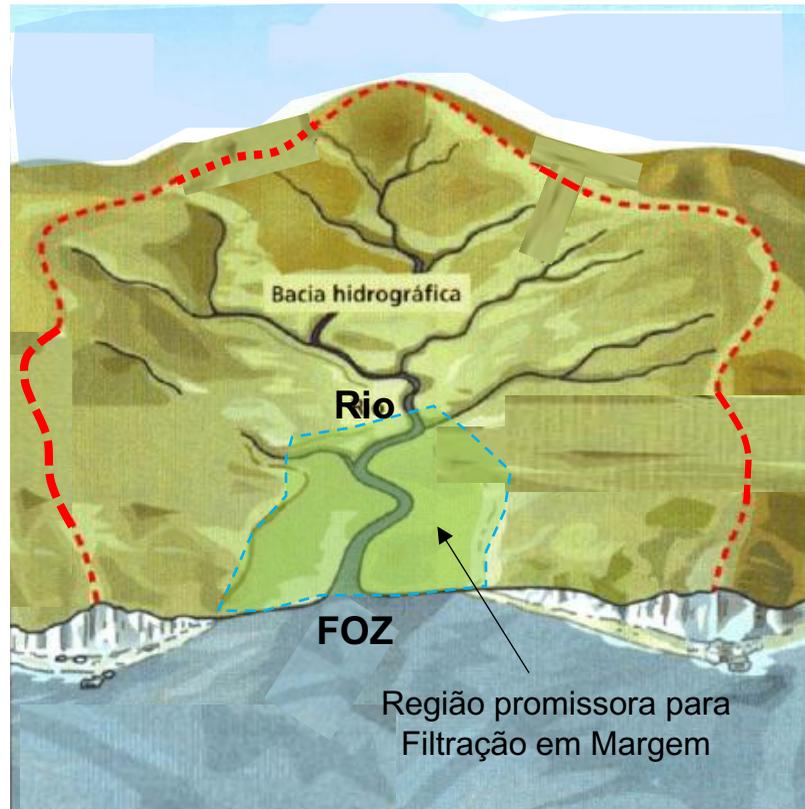
**FASE 3** – Locação do poço em relação ao manancial, após seleção na fase 2, e definição da posição de furos de sondagem, para coleta de amostras de solo e sua caracterização física e química;

**FASE 4** – Escolha final do local para implantação do(s) poço(s).

## 6.1 FASE 1 – Análise visual

### 6.1.1 Relevô

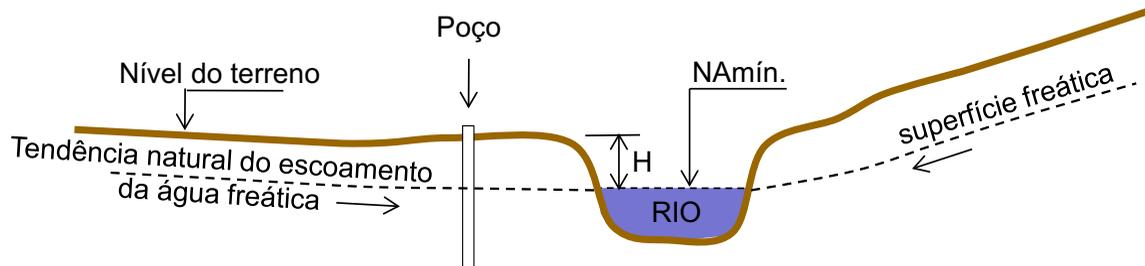
Na busca por locais para implantação da filtração em margem, o relevô é um aspecto muito importante a ser considerado. Os locais mais promissores, tendo por base a Figura 3, representativa de uma bacia hidrográfica, são aqueles situados mais próximos da região da foz do rio.



**Figura 3** – Localização numa bacia hidrográfica, de área promissora para captação de água por Filtração em Margem.  
Fonte: adaptado de: <https://sites.google.com/site/adelaideines/RedeHidrografica.pdf>

Nesses locais, frequentemente são encontradas regiões relativamente planas, trechos de rio com pouca declividade, e depósitos de sedimentos aluvionares compondo o seu entorno, cenário com grande potencial para obtenção de água utilizando a técnica em foco.

Regiões de terreno plano ao lado do rio, conforme ilustrado na Figura 4, e também na Figura 5, apresentam menor inclinação da superfície freática, favorecendo o rebaixamento do nível da água dentro do poço durante o bombeamento, induzindo com mais facilidade a filtração em margem.



**Figura 4** – Perfil do terreno em uma seção transversal de rio  
 Fonte: O autor

Escolher, preferencialmente, margens de rio com altura “H” indicada na Figura 4, de no máximo 5 m. Alturas menores permitem poços menos profundos, reduzindo custos e facilitando a implantação (WANG; YE; DU, 2016).



**Figura 5** – Trecho de rio com margem plana (lado esquerdo) formada por depósitos de areia e seixos rolados.  
 Fonte: Arquivo do autor

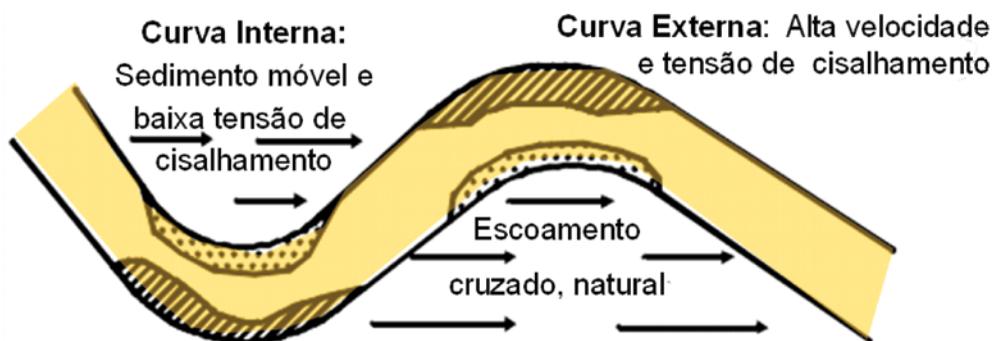
### 6.1.2 Geometria Local

As características mais relevantes em relação à geometria do sistema são: distância do rio ao centro do poço, localização dos meandros dos rios, comprimento do rio impactado, tipo e quantidade de poços de filtração em margem, profundidade média do rio e largura média do rio (SCHÖN, 2006).

**A distância entre o rio e o poço** de FM é um parâmetro a ser considerado na escolha do local. Distâncias próximas acarretam em uma alta taxa de infiltração, devido ao aumento da recarga. Porém, uma desvantagem dessa proximidade é o aumento da colmatação por causa da alta velocidade de entrada (SCHÖN, 2006). A distância usual situa-se na faixa de 10 a 50 m (UMAR *et al.*, 2017).

**Regiões que possuem meandros** de canais de rio são os lugares preferenciais para a instalação do sistema de filtração em margem, pois proporcionam alta taxa de filtração e extração de água de boa qualidade. Particularmente, a melhor região é aquela localizada dentro das curvas do meandro, já que há influência do fluxo de filtração do rio a montante e à jusante (GRISCHEK *et al.*, 2007). Nos locais no interior da seção da curva, a velocidade de escoamento é baixa e possibilita a alternância entre deposição e erosão (Figura 6).

Outro fator que causa uma alta produção de água filtrada na curva de dentro do meandro é o fluxo cruzado da água subterrânea natural. Isso faz com que tenha uma recarga adicional de água do aquífero, e o poço não é alimentado apenas pela água filtrada do rio.



**Figura 6** – Trecho de rio com meandro  
Fonte: Adaptado de SCHÖN, 2006

**O comprimento da margem** de rio afetada pelo sistema de filtração em margem aumenta com o número de poços instalados e espera-se uma influência significativa no rendimento. Quanto maior o número de poços ao longo das margens do rio, maior o alcance do rio e das recargas ganhas no aquífero (SCHÖN, 2006). Quanto mais largo e profundo o rio, maior a área de infiltração, melhorando a produção do poço e reduzindo o risco de colmatção (UMAR *et al.*, 2017).

### 6.1.3 Propriedades do leito do rio

De modo geral, escolhem-se locais em que o rio apresenta areia no fundo (preferencialmente média ou fina), ou seixo rolado. Margens de rio arenosas também são boas alternativas, pois sofrem erosão mais facilmente, favorecendo também a autolimpeza das margens e infiltração da água. Locais que apresentam lama ou lodo no fundo do rio não são recomendáveis. Os sedimentos não devem apresentar mau cheiro (cheiro de podre ou de ferrugem) e devem aparentar a cor natural do solo de que são compostos, a exemplo do ilustrado pela Figura 7.

Ao analisar a composição dos sedimentos, é preferível uma região que possua materiais grosseiros, pois são mais propícios à infiltração de água superficial do que os materiais finos depositados em regiões de baixa velocidade (GRISCHEK *et al.*, 2007).



**Figura 7** – Margem de rio com depósito de areia  
Fonte: Arquivo do autor

Durante essa fase de escolha do local, registrar com fotografias todos os locais visitados, e as coordenadas de localização utilizando recursos de GPS.

## **6.2 FASE 2 – Coleta e análise de dados**

### **6.2.1 Dados topográficos**

Informações sobre a topografia do local de interesse obtidas em plantas ou por imagens de satélite, permitem avaliar cotas, as declividades do trecho do rio e da região próxima da margem, além de outras informações como ocupação e rede hidrográfica da bacia, e acessos (malha viária). Bons resultados com a filtração em margem são reportados em trechos de rio com declividades na faixa de 0,04 a 1,8 m/Km (UMAR *et al.*, 2017).

### **6.2.2 Dados hidrográficos / hidrológicos**

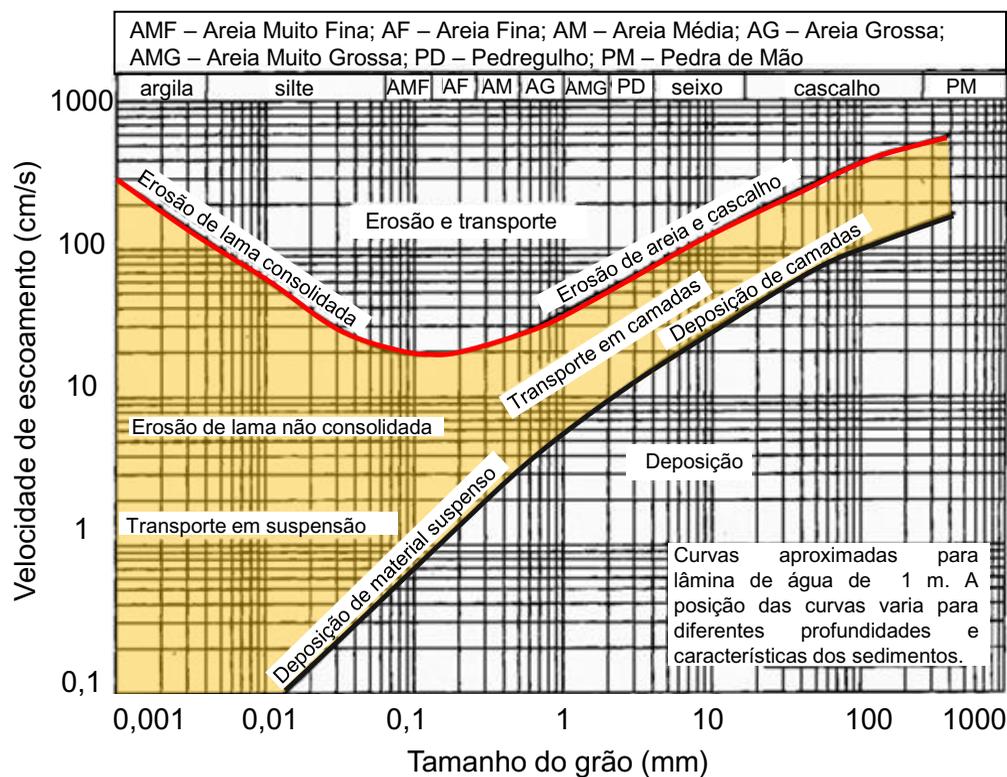
A declividade do rio no local em estudo, e as velocidades de escoamento das águas, juntamente com a geometria e as características geológicas do fundo e margens do rio, determinam o potencial de colmatagem na área de infiltração/filtração em margem. A localização do ponto de interesse na bacia ou sub-bacia hidrográfica, tem influência sobre as variações de vazão, nível e qualidade da água do rio.

Para a instalação de um sistema de filtração em margem, analisam-se propriedades como a declividade do rio (gradiente) e a velocidade do escoamento. De uma forma geral, rios localizados na cabeceira de uma bacia hidrográfica apresentam gradiente alto, com diminuição gradual na seção média e pequeno gradiente na foz. Os poços de filtração em margem são instalados, preferencialmente, na porção média do rio (GRISCHEK *et al.*, 2007).

É necessário verificar a perenidade do rio. Procura-se saber se o rio tem água fluindo em seu leito durante todo o ano ou às vezes possui um período de seca. É recomendado que o sistema de filtração em margem de rio seja implantando em um rio perene. Também é importante obter informações a respeito da variação de nível do rio ao longo do ano. Rio que varia o nível facilmente é preferível, pois esse aspecto favorece a autolimpeza da área de infiltração da água.

A determinação da velocidade anteriormente citada pode ser feita por meio expedito, método do flutuador, ou por qualquer método de maior precisão, a exemplo do

que utiliza um molinete, ambos descritos no item Metodologias desse manual. Valores interessantes de velocidade situam-se na faixa de 0,5 a 2,5 m/s, dependendo da carga de sedimentos e composição do leito do rio. A coleta de sedimentos do fundo e margem do rio permitirá fazer ensaios granulométricos para determinar o diâmetro médio de Sauter, item 4.5 (metodologias) a ser usado no diagrama ilustrado pela Figura 8, para avaliar a movimentação de sedimentos no local da filtração em margem. O diagrama de Hjulström relaciona a velocidade crítica do rio com o diâmetro característico do sedimento (SÃO PAULO, 2012). De acordo com Bongio (2010), o eixo das abcissas corresponde ao tamanho do grão característico (ou a presença de uma mistura de granulometria variável, a D50), e a ordenada corresponde à velocidade do rio. A partir destes dados é possível classificar se o regime de escoamento do rio favorece a sedimentação/deposição, transporte ou erosão e transporte. É interessante que no local da FM haja alternância entre transporte e deposição de sedimentos.



**Figura 8** – Diagrama de Hjulström-Sundborg  
 Fonte: Adaptado de Grischek *et al.* (2007)

### 6.2.3 Acessos

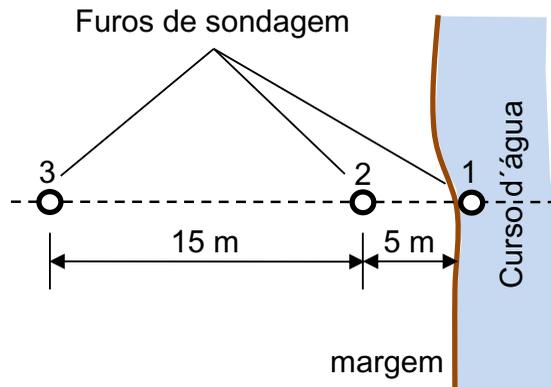
A implantação da FM exige obras de abertura de poços, instalação de equipamentos, e estruturas de adução e reservação de água. É importante conhecer os acessos aos locais de interesse dessa implantação, pois isso irá influenciar nos custos do sistema em função da maior ou menor dificuldade e distâncias de deslocamento de equipamentos e mão de obra.

### 6.3 FASE 3 – Locação do poço e furos de sondagem

Após a escolha de possíveis locais para a FM, definidas nas fases 1 e 2, deve-se buscar mais informações sobre a hidrogeologia do local. É recomendado a realização de sondagem rotativa, em função da expectativa de camadas de sedimentos como pedregulhos e seixos, que dificilmente serão atravessadas por sondagem percussiva. A critério do sondador, poderá combinar técnicas para melhor realização do serviço. Perfurar até atingir uma camada impermeável, rocha ou argila, ou 30 m de profundidade. Isso permitirá avaliar a conectividade do manancial de superfície com o aquífero subterrâneo adjacente, e estimar a espessura da camada saturada.

Recomenda-se a execução de pelo menos 3 furos de sondagem em cada local selecionado para implantação da FM, evidentemente que do lado do curso d'água onde o sistema poderá ser implantado, conforme esquematizado na Figura 9.

O primeiro furo deve ser feito próximo da margem, porém dentro do rio, para coletar amostras do fundo do rio. Amostras devem ser coletadas para ensaios granulométricos e análises geoquímicas. Além da determinação do perfil geológico, é recomendável no ato da sondagem fazer testes de infiltração em cada furo, para estimar o coeficiente de permeabilidade. A descrição desse procedimento é apresentada na seção de metodologias desse manual.



**Figura 9** – Posição dos furos de sondagem em relação ao curso d'água  
 Fonte: O autor

O tamanho e a distribuição dos grãos nos sedimentos são características importantes no que diz respeito à permeabilidade e na quantidade de água filtrada, como é relatado no trabalho de Tufenki et al. (2002 apud Paiva, 2009).

As condições ideais são os aquíferos permeáveis, de material graúdo, que estejam conectados hidráulicamente com os materiais do leito do rio (PAIVA, 2009).

As características mais significativas do leito do rio são: condutividade hidráulica vertical, distribuição de partículas dos sedimentos, tamanhos do D10, D50 e D90, porosidade, largura do aquífero, presença ou ausência da camada impermeável (SCHÖN, 2006).

Segundo Donald *et al.* (2006) apud Mondardo (2009), é recomendável que a condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade,  $K$ , que corresponde à taxa de infiltração do fluido em meio poroso, seja pelo menos 2 m/d. Segundo UMAR *et al.*, 2017, bons resultados com filtração em margem foram obtidos para valores de  $K > 8$  m/d e camada da espessura saturada, de pelo menos 5 m. WANG; YE; DU, 2016, consideram boas, camadas saturadas com espessura entre 10 e 30 m .

A porosidade é a razão entre o volume dos vazios pelo volume total de uma determinada amostra. A porosidade, juntamente com a condutividade hidráulica, relaciona-se com a quantidade de vazios no meio poroso. Enquanto que a porosidade aumenta com a diminuição do tamanho dos grãos, a condutividade hidráulica diminui (PAIVA, 2009). Por outro lado, conforme destaca Mondardo (2009), quanto maior o

tamanho dos grãos e o valor da porosidade, maior será a porosidade efetiva ou vazão específica do aquífero.

Do ponto de vista hidrogeoquímico, é importante se preocupar com a quantidade de matéria orgânica nas amostras de solo, sobretudo na camada hiporreica, geralmente primeiros 60 cm da camada de sedimentos no fundo e margens do rio. De acordo com Grischek et al. (2007), a porção biodegradável do carbono orgânico total indica a possível condição de oxigenação que o aquífero apresentará. Se essa porção for alta, o processo de biodegradação irá consumir todo o oxigênio dissolvido, tendo como consequência um aquífero em condições anóxicas, o que pode causar a dissolução de ferro e manganês. A anaerobiose do aquífero é ainda mais frequente em locais que apresentam baixa condutividade hidráulica e/ou condições de confinamento. De acordo com Tyson (1995 apud ALBUQUERQUE, 2015), valores de matéria orgânica no solo até 2% são considerados baixos.

Além do ferro e do manganês, outros parâmetros de qualidade da água devem ser observados antes da instalação de um sistema de filtração em margem de rio em determinado local, dentre os quais: quantidade de sólidos totais, turbidez, fósforo total, oxigênio dissolvido, salinidade, nitrogênio total, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, pH e temperatura (SCHÖN, 2006).

#### **6.4 FASE 4 – Escolha final do local para implantação do(s) poço(s)**

Após analisar todas as informações coletadas nas fases anteriores, deve-se fazer uma classificação dos locais pesquisados, ponderando os diversos aspectos observados, para a escolha de um ou mais locais para implantação de poços de filtração em margem. Nesse sentido, WANG; YE; DU (2016), realizaram uma pesquisa na bacia do rio Songhua, na província de Jilin, China. Os autores propuseram uma metodologia, baseada num conjunto de informações geomorfológicas, hidrológicas, hidro geológicas e topográficas da bacia, além de informações sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, para avaliar a aptidão de um local para aplicação da filtração em margem. Os aspectos avaliados pelos autores citados, também são destacados em diversos trabalhos publicados sobre o tema como observado em UMAR *et al.*, 2017. A metodologia de classificação de locais quanto ao potencial de aplicação da filtração em margem, apresentada nesse trabalho, é uma adaptação a partir da proposta de WANG; YE; DU (2016), com o intuito de facilitar a sua execução.

Assim como na proposta original, considera-se algumas condições que inviabilizam a implantação da filtração em margem, e se observadas, o local pesquisado nas etapas anteriores deve ser **DESCARTADO** e são elas:

- Se no trecho de rio não tiver conexão hidráulica entre a água superficial e a água subterrânea (Informação obtida com a sondagem);
- Se no trecho de rio a declividade estiver fora da faixa recomendada, 0,04 a 1,8 m/Km (informações sobre a topografia da bacia e extensão do rio).

Os demais critérios para a classificação do potencial do local destinado a filtração em margem, assim como os pesos atribuídos para cada critério e os cálculos necessários são apresentados na sequência. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros indicadores dessa avaliação.

**Tabela 2** – Sistema de indicadores para avaliação da viabilidade de implantação da filtração em margem de rio

Item de avaliação	Indicador	Peso do indicador (W)	Peso do item
Quantidade da água subterrânea	Condutividade Hidráulica [K (m/d)]	0,15	0,3
	Espessura do aquífero [M (m)]	0,15	
Qualidade da água superficial	Características da qualidade da água superficial [S]	0,3	0,3
Interação da água superficial com a água subterrânea	Gradiente Hidráulico [I (m/m)]	0,15	0,3
	Permeabilidade do leito do rio [R]	0,15	
Condições de exploração	Profundidade da água subterrânea [D (m)]	0,10	0,10

Fonte: adaptado de WANG; YE; DU (2016)

A condutividade hidráulica (k) reflete a litologia e permeabilidade do aquífero. Sua determinação pode ser feita no momento da realização da sondagem, e os procedimentos desse ensaio estão descritos na seção 4.5 (metodologias). A pontuação desse indicador é apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3** – Critério de pontuação para a condutividade hidráulica

<b>K (m/d)</b>	>100	100-50	50-20	20-5	5-1	1-0,1	<0,1
<b>Pontuação X</b>	100	90	80	70	60	30	0

Fonte: WANG; YE; DU (2016)

O local para implantação da filtração em margem requer uma certa escala de aquífero para produção de água, conforme indicado na Tabela 4. A determinação da espessura da camada saturada é feita a partir dos resultados da sondagem.

**Tabela 4** – Critério de pontuação para a espessura do aquífero

<b>M (m)</b>	>50	30-50	10-30	5-10	3-5	1-3	<1
<b>Pontuação X</b>	100	90	80	70	60	30	0

Fonte: WANG; YE; DU (2016)

A qualidade da água superficial apresenta relação direta com a qualidade da água que será captada pela filtração em margem, mesmo considerando todo o potencial de tratabilidade dessa tecnologia. A avaliação desse aspecto será com base no Índice de Qualidade da Água, IQA, utilizado no Brasil em diversos estudos envolvendo a utilização de mananciais superficiais (ANA, 2017). Na Tabela 5 é apresentada a classificação do manancial auferida por esse índice, e na Tabela 6 a pontuação em função da classificação da qualidade da água. O cálculo do IQA é apresentado na seção 4.5 (metodologias). Os dados de qualidade da água utilizados nesse cálculo são obtidos a partir de amostras coletadas na fase 3, ou obtidas anteriormente.

**Tabela 5** – Valores de IQA e classificação da qualidade da água

<b>Faixa de IQA</b>	<b>Classificação</b>
91 a 100	Ótima
71 a 90	Boa
51 a 70	Razoável
26 a 50	Ruim
0 a 25	Péssima

Fonte: ANA (2017)

**Tabela 6** – Critério de pontuação para a qualidade da água superficial

<b>S (IQA)</b>	91 a 100	71 a 90	51 a 70	26 a 50	0-25
<b>Pontuação X</b>	100	95	90	60	-275

Fonte: adaptado de WANG; YE; DU (2016)

O gradiente hidráulico reflete diretamente a relação de recarga e descarga entre a água superficial e a água subterrânea. Um gradiente positivo indica que o rio recarrega a água subterrânea, e negativo, o rio é recarregado. Um valor positivo de gradiente hidráulico é benéfico para a filtração em margem na maioria das situações. Valores positivos muito altos, podem indicar baixa permeabilidade do leito do rio. Valores negativos podem dificultar ou inviabilizar a indução da filtração em margem, exigindo muita energia de bombeamento. A Tabela 7 contém a pontuação desse critério. A determinação desse gradiente é feita a partir dos resultados da sondagem, utilizando a equação (6), tomando por base a Figura 9.

$$I = [(N_{Ario} - N_{Af2}) / L] \cdot 1000 \quad \text{equação (6)}$$

Onde:

I = gradiente hidráulico entre o rio e o aquífero adjacente (‰)

$N_{Ario}$  = nível da água no rio (pode ser tomada no furo 1 de sondagem) (m)

$N_{Af2}$  = nível da água no furo 2 de sondagem (m)

L = distância entre os Furos 1 e 2 de sondagem (m). Na Figura 7, L = 5 m.

**Tabela 7** – Critério de pontuação para o gradiente hidráulico (I)

<b>I (‰)</b>	>10	10-5	0-5	0 a -5	-10 a -5	< -10
<b>Pontuação X</b>	40	80	100	90	80	60

Fonte: WANG; YE; DU (2016)

A permeabilidade do leito do rio indica a capacidade de troca entre a água superficial e a água subterrânea, e a pontuação do critério está na Tabela 8. O teste de permeabilidade do leito do rio, de maneira similar a determinação da condutividade hidráulica, pode ser feito com base num ensaio de infiltração, descrito na seção de metodologias.

**Tabela 8** – Critério de pontuação para a permeabilidade do leito do rio (R)

R (m/d)	>5	1-5	0,5 – 1	0,1 – 0,5	0,05 – 0,1	0,01 – 0,05	<0,01
Pontuação X	100	90	80	70	60	30	0

Fonte: WANG; YE; DU (2016)

A profundidade da água subterrânea influencia diretamente nos gastos com energia para extração, e a pontuação desse critério está na Tabela 9. Esse valor pode ser obtido a partir dos resultados da sondagem, e representa a profundidade que se encontra o topo da camada saturada em relação ao nível do terreno no provável local de perfuração do poço, ou seja, a profundidade do nível da água em relação ao terreno.

**Tabela 9** – Critério de pontuação para a profundidade da água subterrânea (D)

R (m/d)	< 5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	>30
Pontuação X	100	90	80	70	60	30	0

Fonte: WANG; YE; DU (2016)

O índice de viabilidade do local para a implantação da filtração em margem é dado pela equação (7), e o grau de viabilidade é indicado na Tabela 10.

$$A = (XK.WK) + (XM.KM) + (XS.WS) + (XI.WI) + (XR.WR) + (XD.WD) \quad \text{equação (7)}$$

Tabela 10 – Classificação de áreas considerando a aptidão para implantação da Filtração em Margem.

<b>Índice de viabilidade (A)</b>	<b>Grau</b>	<b>Aptidão do local</b>
90- 100	I	Áreas de excelente aptidão
80 – 89	II	Áreas de boa aptidão
70 – 79	III	Áreas de aptidão moderada
60 – 69	IV	Áreas de aptidão pobre
< 60	V	Áreas não indicadas

Fonte: WANG; YE; DU (2016)



## 7.1 Determinação da velocidade média do rio

A velocidade média do rio pode ser determinada, entre outros, pelos seguintes métodos: Método do Flutuador e o Método do Molinete.

### 7.1.1 Método do flutuador

É um método expedito, de fácil execução e fornece uma ideia aproximada da velocidade de escoamento das águas do rio. Consiste em usar um flutuador, que pode ser um limão, uma laranja, ou uma garrafa PET 500 mL com água até a metade, para estimar a velocidade citada. O procedimento, esquematicamente representado pela Figura 10, consiste em fazer duas marcações em um trecho reto de rio, que pode ser uma corda esticada entre as margens; soltar o flutuador 2 ou 3 metros antes do ponto 1 para ganhar velocidade; medir o tempo “t” (em segundos, usando um cronômetro) que o flutuador demora para ir do ponto 1 até o ponto 2, ou seja, percorrer a distância  $L = 6$  m (valor recomendado). O teste deve ser feito em dias sem vento para não influenciar na velocidade do flutuador. Em cada teste fazer três repetições para tirar um valor médio. É interessante, se possível, fazer medições contemplando dias de maior e menor vazão no rio, para ter ideia da amplitude de variação da velocidade. Como a água se desloca mais rápido na superfície que na porção do fundo do rio, faz-se necessário uma correção da velocidade em função das características do fundo do rio, conforme está apresentado na equação (8) (PALHARES *et al.*, 2007).

$$v = \frac{C.L}{t} \quad \text{equação (8)}$$

onde:

$v$  = velocidade do escoamento superficial da água (m/s)

$L$  = comprimento do trecho considerado (m)

$C$  = fator de correção da velocidade (0,8 para rios com fundo pedregoso e 0,9 para rios com o fundo barrento)

$T$  = tempo de percurso do flutuador (s)

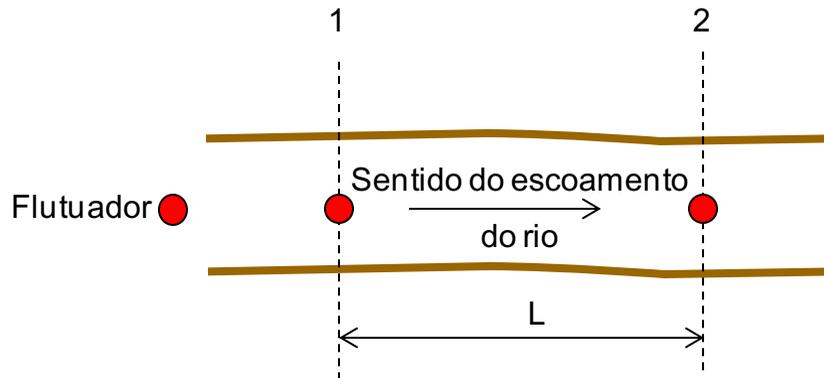


Figura 10 – Esquema, em planta, para medir a velocidade da água do rio  
Fonte: O autor

### 7.1.2 Método do molinete

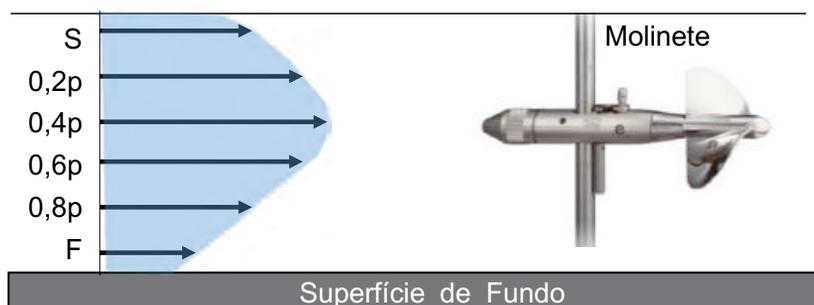
Os molinetes são instrumentos projetados para girar em velocidades diferentes, de acordo com a velocidade da água. A velocidade da água é maior no centro de um rio do que junto às margens, assim como a velocidade é menor no fundo do rio do que na superfície. Por esse motivo, para uma boa estimativa da velocidade média é preciso medir a velocidade em diferentes alturas e em várias verticais ao longo da largura do rio. É um dos métodos mais utilizados no momento, e possui maior precisão comparado ao método do flutuador. As Tabelas 11 e 12 orientam a distribuição dos pontos de medição de velocidade em função das dimensões da seção de rio ou canal considerada.

**Tabela 11** – Distribuição dos pontos transversais ao canal para medição da velocidade do fluxo de água entre as seções verticais

Largura do rio (m)	Distância entre as seções verticais (m)	Largura do rio (m)	Distância entre as seções verticais (m)
< 3	0,3	50 a 80	4,0
3 a 6	0,5	80 a 150	6,0
6 a 15	1,0	150 a 250	8,0
15 a 30	2,0	>250	12
30 a 50	3,0		

Fonte: adaptado de Carvalho, 2008.

A Figura 11 permite visualizar de forma relativa o posicionamento do molinete em relação ao fundo e superfície do curso d'água numa seção vertical. A letra "p" que acompanha os números representa a profundidade do curso d'água no ponto considerado, assim 0,2p representa 20% da profundidade, e assim por diante.



**Figura 11** – Perfil de velocidade com os respectivos pontos de medição recomendados

Fonte: adaptado de Carvalho, 2008.

**Tabela 12** – Distribuição dos pontos para medição da velocidade do fluxo de água em diferentes verticais

Profundidade do rio (m)	Número de pontos	Profundidade dos pontos (m)	Velocidade média (m/s)
0,15 a 0,60	1	0,6p	$V_m = V(0,6)$
0,61 a 1,20	2	0,2p e 0,8p	$V_m = [V(0,2) + V(0,8)] / 2$
1,21 a 2,00	3	0,2p; 0,6p e 0,8p	$V_m = [V(0,2) + 2.V(0,6) + V(0,8)] / 4$
2,01 a 4,00	4	0,2p; 0,4p; 0,6p e 0,8p	$V_m = [V(0,2) + 2.V(0,4) + 2.V(0,6) + V(0,8)] / 6$
> 4,00	6	S; 0,2p; 0,4p; 0,6p; 0,8p e F	$V_m = [V_S + 2.V(0,2) + V(0,4) + V(0,6) + V(0,8) + V_F] / 10$

Fonte: adaptado de Carvalho, 2008.

A NBR 13403 (ABNT, 1995) recomenda que para uso do molinete, a velocidade de escoamento do rio deve estar sempre superior a 0,2 m/s, sendo comum a utilização desses aparelhos com velocidades na faixa de 0,5–2,5 m/s, dependendo da carga de sedimentos e composição do leito do rio.

Após a determinação das velocidades médias nas seções verticais é feita a média aritmética entre elas, ou seja, a média das médias, obtendo-se então a velocidade média do rio, conforme equação (9).

$$Vr = \frac{\sum_{i=1}^n Vmi}{n} \quad \text{equação (9)}$$

Onde:

n = número de seções verticais; Vmi = velocidade média na seção índice i , em (m/s); Vr = velocidade média do rio ou canal (m/s)

## 7.2 Determinação do diâmetro médio de Sauter

O diâmetro médio de Sauter é utilizado para avaliar a movimentação de sedimentos no leito do rio através do diagrama de Hjulström. A determinação é baseada em coleta de amostras do leito do rio e realização de ensaio granulométrico.

O diâmetro característico, é determinado por meio do diâmetro de Sauter. Tal parâmetro relaciona o diâmetro da partícula, cuja relação superfície/volume é a mesma para todas as partículas. A Equação (10) é utilizada para esse cálculo (PORTELA; LACERDA; LOURENÇO, 2013).

$$d_p = \frac{1}{\sum_i \frac{\Delta x_i}{\frac{(d_i + d_{i-1})}{2}}} \quad \text{equação (10)}$$

em que:

$d_p$  = é o diâmetro médio de Sauter

$\Delta x_i$  = é a fração mássica retida na peneira i

$d_i$  = é o diâmetro de abertura da peneira i

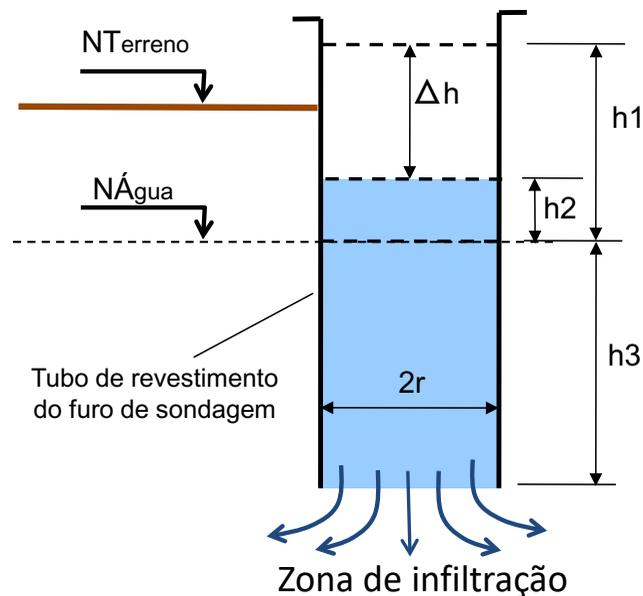
$d_{i-1}$  = diâmetro da abertura da peneira i-1

### 7.3 Determinação do coeficiente de permeabilidade por ensaios de infiltração

O coeficiente de permeabilidade pode ser determinado em campo por ensaios de infiltração. A determinação pode ser feita utilizando o tubo de revestimento do furo de sondagem, antes da sua extração, que funciona como um piezômetro. A Figura 12 permite visualizar as variáveis envolvidas nessa determinação (CAPUTO, 1996).

O ensaio consiste basicamente em colocar água no piezômetro até uma altura acima da linha do terreno, que permita o fácil controle e manutenção desse nível.

- (1) preenche-se o tubo com água até a altura desejada, anota-se a medida "h1";
- (2) para ensaios acima do NA deve-se saturar o poço por dez minutos;
- (3) interrompe-se o fornecimento de água, tomando-se esse instante como tempo zero, e acompanha-se o rebaixamento do nível de água em intervalos curtos no começo e mais longos em seguida: Ex: 15s, 30s, 1min, 2min, 3min, 4min, 5min, etc.;
- (4) Recomenda-se que o ensaio seja dado por concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou 30 minutos de ensaio.



**Figura 12** – Arranjo do experimento para determinação da permeabilidade do solo por ensaio de infiltração em campo

O cálculo da permeabilidade é feito com base na equação (11).

$$k = \frac{r_1}{4 \cdot h} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \text{equação (11)}$$

Onde,

K = coeficiente de permeabilidade (cm/s)

r = raio interno do piezômetro (cm)

$h_1$  = altura da coluna d'água sobre o nível inicial de água dentro piezômetro (cm)

$\Delta h$  = diferença entre as alturas  $h_1$  e  $h_2$ , de água, dentro do piezômetro (cm)

$\Delta t$  = diferença de tempo relativo a  $\Delta h$

Para a determinação da permeabilidade do leito do rio, o procedimento é similar, com a diferença que o nível do terreno (fundo do leito do rio) estará abaixo do nível da água. O tubo utilizado será mais curto, o suficiente para passar cerca de 20 cm acima da superfície da água, e ser cravado no leito do rio, cerca de 10 cm. Normalmente se utiliza tubo de PVC com diâmetro de 100 mm, linha predial de esgoto sanitário, que possui a menor espessura de parede. Na extremidade que vai ser cravada no leito do rio, é recomendável fazer cortes em "V" (tipo dente de serra) em todo o perímetro da circunferência, para facilitar a penetração e não provocar muita deformação nos sedimentos. Para fazer esse ensaio não é necessário ter furo de sondagem. As demais etapas do ensaio são as já apresentadas.

#### 7.4 Determinação do IQA

O IQA é composto por nove parâmetros, com seus respectivos pesos (w), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água, conforme Tabela 13.

**Tabela 13** – Parâmetros de qualidade da água do IQA e respectivo peso

<b>Parâmetro de qualidade da água</b>	<b>Unidades</b>	<b>Peso (w)</b>
Oxigênio Dissolvido (OD)	% de saturação	0,17
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	0,15
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5,20)	mgO <sub>2</sub> /L	0,10
Temperatura da água (desvio)	° C	0,10
Nitrogênio Total	mg N/L	0,10
Fósforo Total	mgP/L	0,10
Turbidez	uT	0,08
Sólidos Totais	mg/L	0,08

Fonte: ANA (2017)

Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida, conforme Figuras 13, 14, 15, 16 e 17. O valor do IQA é calculado pelo produtório ponderado entre os pesos e os valores dos parâmetros de qualidade, utilizando a equação (12). Cabe ressaltar que o somatório dos valores  $W_i$  é um.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{equação (12)}$$

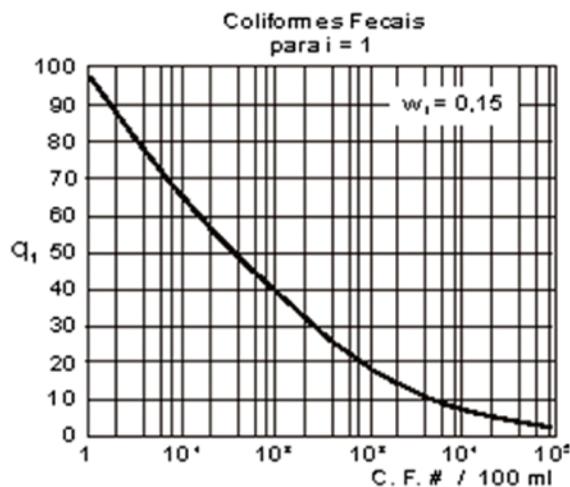
onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100

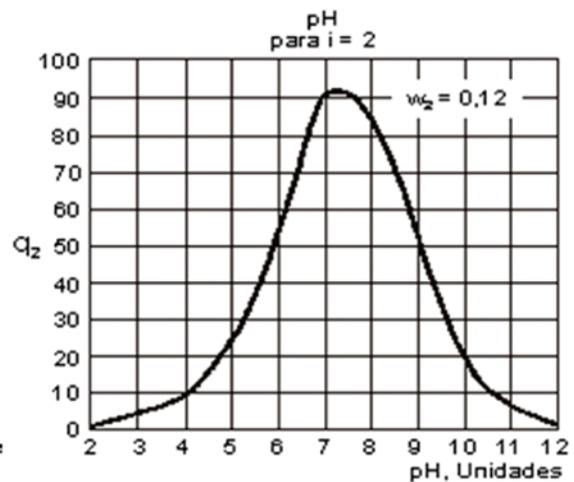
$q_i$  = qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise)

$w_i$  = peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$n$  = número de parâmetros que entram no cálculo do IQA

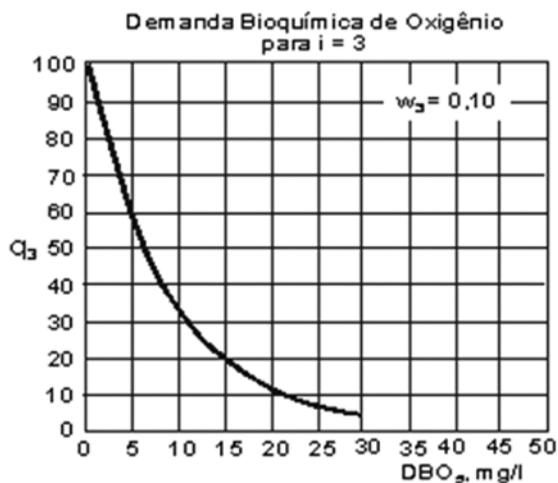


Nota: se  $CF > 10^5$   $q_1 = 3,0$

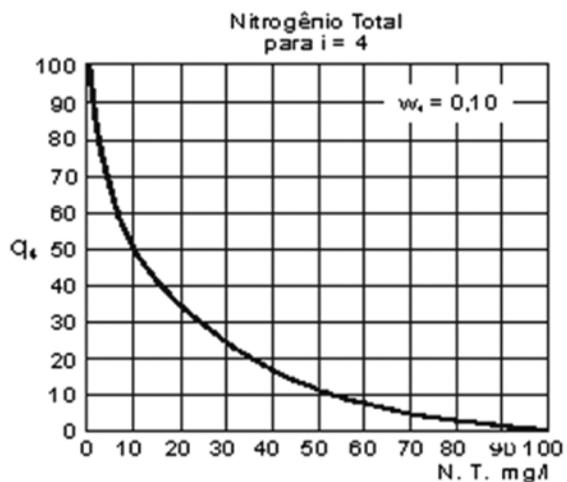


Nota: se  $pH < 2,0$ ,  $q_2 = 2,0$   
se  $pH > 12,0$ ,  $q_2 = 3,0$

Figura 13 – Valores de qualidade dos parâmetros: coliformes termotolerantes ( $q_1$ ) e pH ( $q_2$ )  
Fonte: ANA (2017)



Nota: se  $DBO_5 > 30,0$ ,  $q_3 = 2,0$



Nota: se  $N. T. > 100,0$ ,  $q_4 = 1,0$

Figura 14 – Valores de qualidade dos parâmetros: DBO ( $q_3$ ) e Nitrogênio total ( $q_4$ )  
Fonte: ANA (2017)

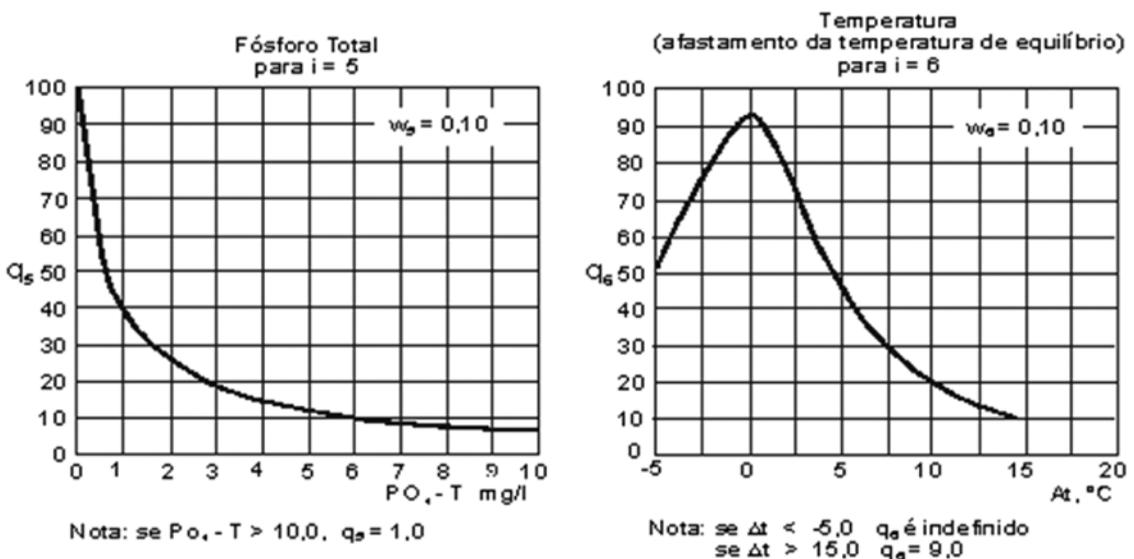


Figura 15 – Valores de qualidade dos parâmetros: Fósforo Total ( $q_5$ ) e Temperatura ( $q_6$ )  
 Fonte: ANA (2017)

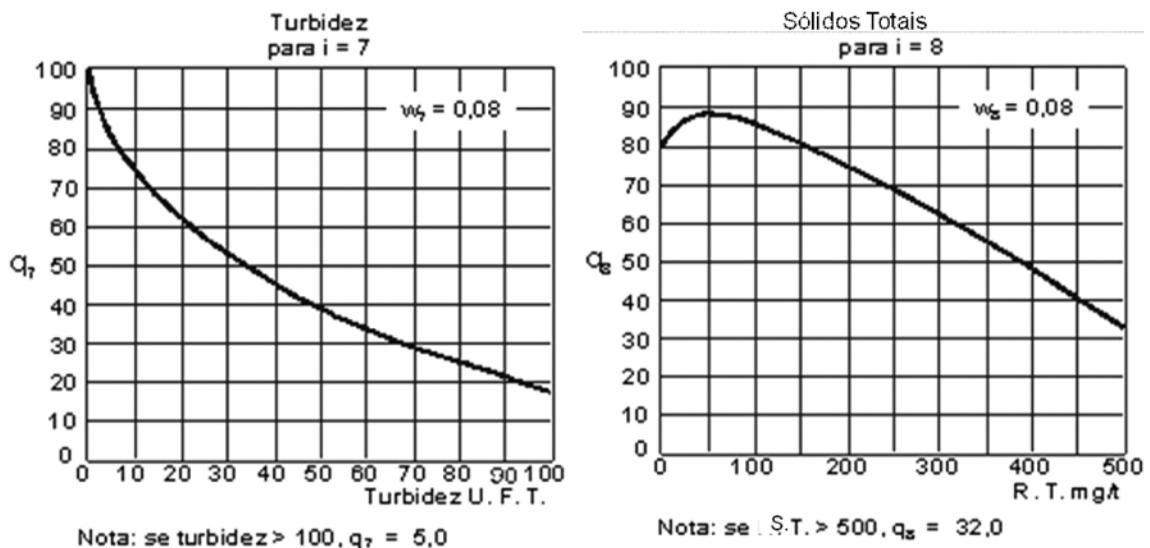


Figura 16 – Valores de qualidade dos parâmetros: Turbidez ( $q_7$ ) e Sólidos Totais ( $q_8$ )  
 Fonte: ANA (2017)

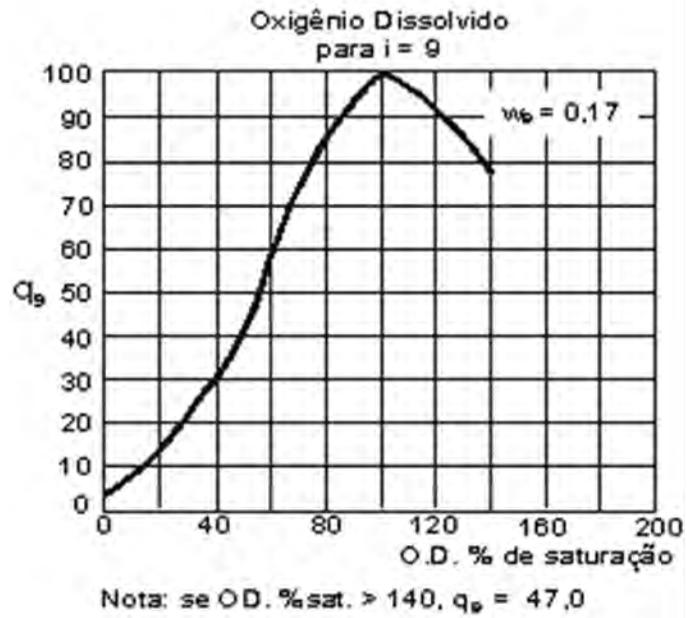


Figura 17 – Valores de qualidade do parâmetro: Oxigênio Dissolvido ( $q_9$ )  
Fonte: ANA (2017)

## 8

**8.1 Presença de metais em poços de filtração em margem****8.1.1 Ferro**

O sistema de filtração em margem é uma alternativa adotada para o tratamento de água, com boa remoção da turbidez, cor e matéria orgânica (IBRAHIM; AZIZ; YUSOFF, 2015). Por outro lado, segundo Hiscock e Grischiek (2002 apud Paiva, 2009), alguns estudos identificaram o aumento de alguns parâmetros, como a dureza, amônia, concentrações de manganês e ferro dissolvidos, além da formação de compostos de sulfeto de hidrogênio e outros sulfurosos de mau odor.

De acordo com Ibrahim, Aziz e Yusoff (2015), a presença de metais pesados em poços de filtração em margem é explicada pelos processos geoquímicos em aquíferos. Tais processos são influenciados pela infiltração da água, quantidade e composição dos sedimentos do aquífero e características da água subterrânea.

O ferro é um dos mais importantes íons das rochas ígneas, estando presente principalmente em minerais máficos. As fontes mais comuns de ferro são: magnetitas, biotitas, piritas, piroxênios e anfibólios. O íon de ferro mais abundante na água subterrânea é o  $Fe^{2+}$ , encontrado na forma dissolvido (CELLIGOI, 1999). Segundo Oliveira, Schmidt e Freitas (2003), o ferro também pode ser de origem natural, como o que é encontrado em depósitos orgânicos e detritos de plantas.

Como consta no trabalho de Ibrahim, Aziz e Yusoff (2015), quatro importantes processos geoquímicos estão envolvidos na qualidade da água produzida nos poços de tratamento por filtração em margem, sendo eles: redução nas proximidades da margem do rio, oxidação próxima ao poço, dissolução de minerais de carbonato no aquífero e sorção e dessorção de materiais aluviais.

As reações de redução impactam a qualidade da água subterrânea, juntamente com o processo biogeoquímico, e ocorrem principalmente na zona hiporreica. Essa zona é uma região de transição entre a água superficial e subterrânea, que possui atividades biogeoquímicas muito mais intensas do que nas outras duas zonas (JARAMILLO, 2012). Essas atividades refletem em alguns parâmetros, como a temperatura, pH, potencial redox, teor de oxigênio e teor de matéria orgânica.

De acordo com Jaramillo (2012), há a criação de um ambiente anaeróbio na zona hiporreica, devido a um consumo acelerado de oxigênio das atividades microbianas, associadas com a degradação da matéria orgânica e de contaminantes orgânicos. Em condições anaeróbias, há o aumento da atividade das bactérias desnitrificantes, o qual cria uma área altamente redutora. Como consequência, tem-se a dissolução dos óxidos de manganês e ferro, que afeta a qualidade da água filtrada.

Outro fator que afeta a oxidação perto do poço e causa o avanço de metais dissolvidos é a colmatação do fundo do manancial, como mostra Stuyzand et al. (2006 apud SOARES, 2009).

Com o aumento da distância do rio, a atividade microbiológica diminui e o suprimento de oxigênio vindo da zona insaturada aumenta, criando assim, um ambiente oxidante. Dessa forma, o ferro e manganês são removidos da água subterrânea por precipitação e adsorção para as superfícies dos grãos que constituem o meio poroso (JARAMILLO, 2012).

Também, ao fazer a estimativa do Carbono Orgânico Total (COT) na água do rio, é possível inferir sobre o processo de degradação e o consumo de OD, e algumas vezes o nitrato (GRISCHEK et al., 2007). Esses processos podem causar um ambiente anóxico no aquífero e, conseqüentemente, o ferro irá sofrer redução química para a forma  $Fe_{2+}$  e solubilizará na água. A ocorrência ou não dessas situações dependerá de outros fatores, como o pH e temperatura.

### 8.1.2 Manganês

De acordo com Oliveira, Schmidt e Freitas (2003), geralmente o manganês acompanha o ferro por causa de seu comportamento geoquímico. Concentrações de ferro e manganês em águas naturais são devidas às interações da água com o solo, pois esses dois elementos são constituintes naturais do solo (MADEIRA, 2003).

Segundo Benefield et al. (1982 apud MADEIRA, 2003), o manganês é encontrado em maiores proporções nas rochas metamórficas e sedimentares. Solos que apresentam essas rochas têm maior probabilidade do aumento da concentração de manganês na água filtrada, se comparada com a concentração da água superficial.

Paiva (2009) fala que o manganês é encontrado naturalmente nas águas superficiais e subterrâneas, dependendo da composição das rochas e solo, e em condições de baixa oxidação e anaerobiose. Na ausência de oxigênio, as bactérias utilizam outros aceptores de elétrons, o que acarreta a dissolução do ferro e manganês (SCHMIDT et al., 2003).

O manganês, quando é encontrado em águas naturais, pode estar quimicamente reduzido, se o pH apresentar valor baixo. Nessas condições, o manganês pode apresentar-se nas seguintes formas:  $Mn^{2+}$ ,  $MnOH^+$  e  $Mn(OH)^{3-}$  (MORUZZI; REALI, 2012). A anaerobiose do aquífero, muito frequente em locais que apresentam baixa condutividade hidráulica e/ou condições de confinamento, contribui para a formação de um ambiente redutor.

ALBUQUERQUE, T. B. V. **Caracterização física e biológica da zona hiporreica na interação rio-aquífero no rio Beberibe – Pernambuco.** 2015. 166 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. Indicadores de Qualidade. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 10/09/2017.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RDC N° 91:** Boas práticas para o sistema de abastecimento de água ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água em portos, aeroportos e passagens de fronteiras. 1 ed. Brasília Df: Anvisa, 2016. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13403:** Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – Escoamento líquido. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1995. 10 p.

BONGIO, P. **Difese Spondali in Materiale Lapideo. San Polo D’enza (re): 2010. 52 slides, color.**

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. **Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa.** Brasília Df: Coesc/funasa, 2014. 40 p.

CAPUTO, H. M. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. Livros Técnicos e Científicos Editora. vol. 1, ed. 6. Rio de Janeiro, 1996.

CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por métodos convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-pe, v. 1, n. 1, p.73-85, 2008.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Geografia**, Londrina, v. 8, n. 1, p.91-97, jan./jun. 1999.

GRISCHEK, T. What is the appropriate site for RBF? In: FOX, Peter (Ed.). **Management of Aquifer Recharge for Sustainability**. 111. ed. Phoenix, Arizona: Acacia Publishing Incorporated, 2007. Cap. 9. p. 466-474.

HISCOCK, K. M.; GRISCHEK, T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. **Journal Of Hydrology**, Amsterdã, p.139-144, 2002.

IBRAHIM, N.; AZIZ, H. A.; YUSOFF, M. S. Heavy metals concentration in river and pumping well for river bank filtration (RBF) system: case study in Sungai Kerian. **Jurnal Teknologi: Sciences & Engineering**. [s. L.], p. 59-67. 2015.

JARAMILLO, M. Riverbank filtration: an efficient and economical drinking-water treatment technology. **Dyna**, Medellín, n. 171, p.148-157, February. 2012. Anual.

JORBA, Antonio Ferrer; ROCHA, Gerôncio Albuquerque. **Manual de Operação e Manutenção de Poços**. 3. ed. São Paulo: Daee, 2007. 87 p.

KIM, S. B.; CORAPCIOGLU, M. Y., KIM D. J. Effect of dissolved organic matter and bacteria on contaminant transport in riverbank filtration. **Journal of Contaminant Hydrology**. Vol 66, p.1– 23, 2003.

MADEIRA, V. S. **Desenvolvimento de um carvão adsorvente para remoção de íons ferro em águas naturais**. 2003. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MICHELAN, D. C. G. S. **Filtração em margem de rio precedendo a filtração lenta, para remoção de carbofurano, em tratamento de água para consumo humano**.

2010. 312 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MONDARDO, R. I. **Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de células de cianobactérias e saxitoxinas.** 2009. 291 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, Pr, v. 4, n. 1, p.29-43, 2012.

MTE – MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. **NR 6: EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL – EPI** 1 ed. Brasília, Df: Mte, 2017. 8 p.

MTE – MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. **NR 31: SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NA AGRICULTURA, PECUÁRIA SILVICULTURA, EXPLORAÇÃO FLORESTAL E AQUICULTURA.** 1 ed. Brasília, Df: Mte, 2013. 54 p.

PORTELA, T. P. A.; LACERDA, A. F.; LOURENÇO, R.O.. Estudo de parâmetros fluidodinâmicos da farinha de babaçu em leite fluidizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 36., 2013, Maceió. **Anais...** Maceió: UFA, 2013. v. 1, p. 114-124.

OLIVEIRA, D. A. SCHMIDT, G.; FREITAS, D. M. **Avaliação do teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no plano diretor de Palmas-TO.** Palmas, To, p.1-15, 2003.

PAIVA, A. L. R. **O processo de filtração em margem e um estudo de caso no Rio Beberibe.** 2009. 151 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pe, 2009.

PALHARES, J. C. P. **Medição da vazão em rios pelo método do flutuador:** Comunicado Técnico 455. Concórdia SC9999: Embrapa, 2007. 4 p. (ISSN 0100-8862). Versão Eletrônica.

RAY, C.; SCHUBERT, J.; LINSKY, R. B.; MELIN, G. Introduction. In RAY, C; MELIN, G.; LINSKY, R. B. **Riverbank Filtration – improving source-water quality**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1-15p. 2003.

RAY, C.; SOONG, T. W.; LIAN, Y. Q.; ROADCAP, G. S. Effect of flood-induced chemical load on filtrate quality at bank filtration sites. **Journal of Hydrology**, v. 266, n. 3-4, p. 235-258, 2002.

SÃO PAULO. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: Aspectos tecnológicos: diretrizes para projetos**. São Paulo: Miolo, 2012. 130 p.

SCHMIDT, C. K. Experiences with riverbank filtration and infiltration in Germany. **Water Technology Center**, Karlsruhe, p. 1-17, 2003.

SCHÖN, M. Systematic comparison of riverbank filtration sites in Austria and India. 2006. 63 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Innsbruck, Innsbruck, 2006.

SOARES, M. B. D. **Estudo da implantação em escala real da filtração em margem em lago de piscicultura extensiva para dessedentação animal**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

UMAR, D. A. An overview assessment of the effectiveness and global popularity of some methods used in measuring riverbank filtration. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 550, p.497-515, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.021>.

WANG, L.; YE, X.; DU, X. Suitability Evaluation of River Bank Filtration along the Second Songhua River, China. **Water**, [s.l.], v. 8, n. 5, p.176-199, 30 abr. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w8050176>.

## APÊNDICE 1 – Procedimentos para Leitura do Hidrômetro do Poço

### Procedimentos para leitura do hidrômetro do poço



**Figura 1** - Vista da parte externa de um poço mostrando o registro e o hidrômetro

Fonte: <http://www.technoagua.com.br/#>. Acesso em: 18/09/2017



**Figura 2** – Mostrador de um hidrômetro Velocimétrico com interpretação da leitura  
<http://www.vlcomercio.com.br/economia-de-agua.html/>  
Acesso em: 18/09/2017

1. Fazer a leitura sempre no mesmo horário para controle diário de volume bombeado, e nos horários estabelecidos quando estiver fazendo medições da vazão máxima de bombeamento;

2. Ler apenas os números que aparecem no mostrador (Figura 2). Os números na cor preto, representam os milhares de litros, ou seja, metros cúbicos, e os na cor vermelho, representam centenas e dezenas.

No Exemplo ilustrado pela figura 2, a leitura é:

3867,65

0,65 metros cúbicos (ou seiscentos e cinquenta litros)

três mil oitocentos e sessenta e sete metros cúbicos

## APÊNDICE 2 – Planilhas de Controle de Operação

PLANILHA 1 - CONTROLE DIÁRIO DE OPERAÇÃO DE POÇO DE FILTRAÇÃO EM MARGEM												
Informações Gerais				Poço de FM					Informações Técnicas			
Município				Vazão máxima (Qmáx)	m³/h		Modelo		Bomba			
Estado				Rebaixamento máximo (Smáx)	m		Potência		W			
Comunidade				Nível estático (NE)	m		Tensão		V			
Mês				Nível dinâmico (ND)	m		Vazão máxima (Qmáx)		m³/h			
Ano				Profundidade do poço	m		Profundidade do crivo		m			
Dias	Leituras do hidrômetro (m³)			Condição do tempo			Análises de água			Observações sobre a qualidade da água	Observações sobre o sistema	
	LA	L	L - LA	Sol	Nublado	Parc Nub	Chuvoso	T1	pH	T2		Cloro
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

Legendas: LA: Leitura Anterior; L: Leitura no dia; T1: Torneira 1; T2: Torneira 2.





## APÊNDICE 3 – Procedimentos para Medição da Profundidade do Nível da Água no Poço

### Procedimentos para medição da profundidade do nível da água no poço

**Figura 1 - Vista da parte externa de um poço mostrando o tubo guia para inserção do medidor de nível**



<http://www.hidroview.com.br/2017/07/17/medidor-de-nivel-de-fita-para-que-serve-como-usar/>

1 - Lembre-se que o medidor consiste de um circuito eletrônico que funciona alimentado por uma bateria, geralmente de 9 volts. Tenha sempre uma bateria reserva;

2- Com o medidor de nível em mãos faça 2 testes físicos antes.

Teste 01: Ligue o medidor e aperte o botão "teste". Ao fazer esta ação, você deve escutar um apito. Alguns medidores têm um LED que acende junto com o apito, assim você tem dois alertas, o sonoro e o visual.

Teste 02: Coloque a ponta do medidor em um copo ou lata com água, e verifique se ele apita quando a ponteira estiver completamente submersa na água;

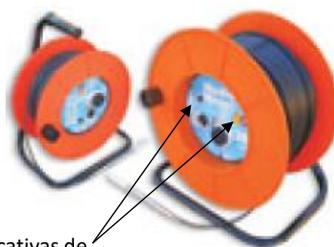
3 - Desenrolar a fita do carretel inserindo-a no tubo de nível até o momento em que o medidor começar a apitar. Neste momento, pare de desenrolar o carretel e comece a puxar a fita para fora do poço, até que ele pare de apitar;

4 - Agora, de forma bem lenta, vá descendo a fita até que o medidor comece a apitar novamente e pare. Pronto. Este é o nível da água no poço;

5 - Como a fita do medidor geralmente é graduada em centímetros faça a leitura de quantos metros de fita tem dentro do tubo de nível;

6 – Anote na planilha 2 (Apêndice 2) os dados da leitura.

**Figura 2- Medidor de nível para poços tubulares profundos**



Luzes indicativas de funcionamento

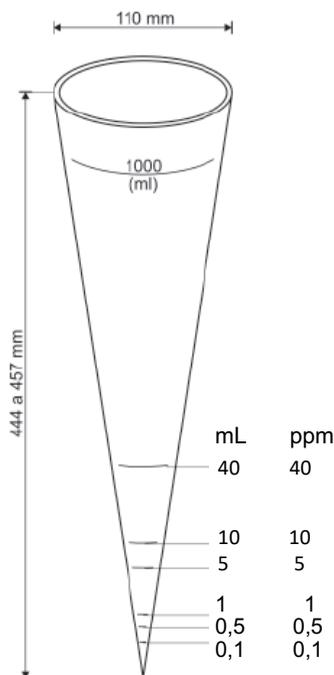
Fonte: [www.drillcenter.com.br/2017/07/17](http://www.drillcenter.com.br/2017/07/17)



## APÊNDICE 4 – Procedimentos para Determinação da Quantidade de Areia e Outros Materiais Sedimentáveis na Água do Poço Utilizando um Cone Imhoff

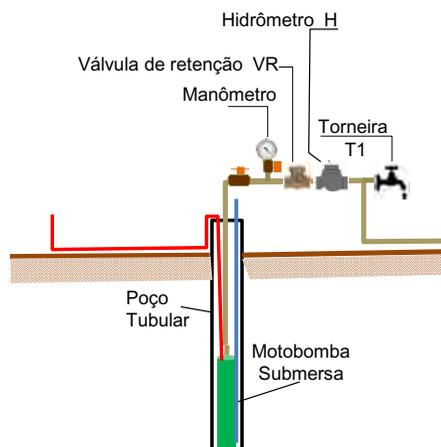
### Procedimentos para determinação da quantidade de areia e outros materiais sedimentáveis na água do poço Utilizando um cone Imhoff

Figura 1 – Cone Imhoff



Fonte: Jorba e Rocha, 2007.

Figura 2 – Vista do local para coleta de água para o teste de presença de areia



Fonte: O autor

1. Com a motobomba ligada, abra a torneira T1, regulando para não sair um jato muito forte, que não permita a coleta;
2. Sustente o cone com as mãos pela borda externa;
3. Coloque a boca no cone na parte inferior do jato de água, próximo a torneira, e retire-o instantaneamente assim que estiver cheio de água;
4. Ponha o cone num suporte, deixe o material em suspensão sedimentar, e leia diretamente o volume;
5. Faça pelo menos 3 medições, sempre no início do bombeamento, e calcule a média;
6. O valor ideal é zero, portanto, observar atentamente e anotar se encontrar alguma quantidade.

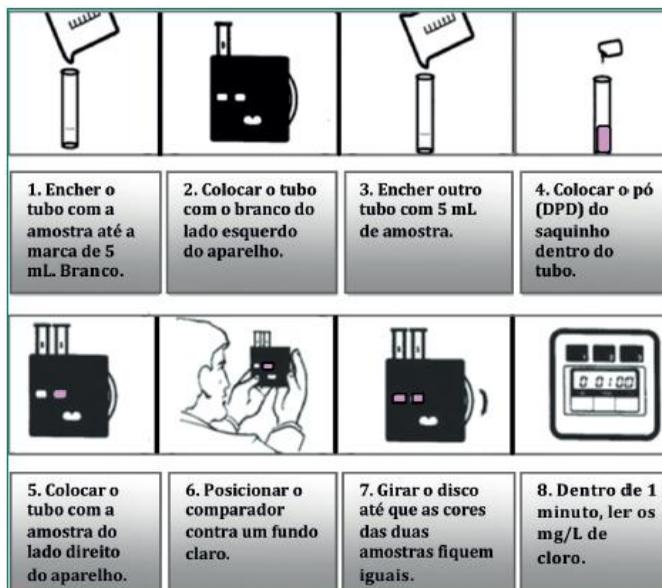
## APÊNDICE 5 – Procedimentos para Determinação do Cloro Residual e Temperatura da Água

### Procedimentos para determinação do cloro residual

Determinação do cloro residual livre pelo método DPD, usando o comparador:

1. Abrir a torneira T2 e deixar a água correr por um minuto;
2. Encher o tubo com a amostra até a marca indicada de 5 mL. Este é o branco;
3. Colocar o tubo com o branco na abertura superior esquerda do aparelho;
4. Encher outro tubo com 5mL de amostra;
5. Colocar o pó (DPD) do saquinho dentro do tubo e misturar;
6. Colocar o tubo com a amostra na abertura superior direita do aparelho;
7. Posicionar o comparador contra um fundo claro;
8. Girar o disco até que as cores das duas amostras fiquem iguais;
9. Dentro de 1 minuto, ler os mg/L de cloro.

A representação esquemática desse procedimento está ilustrada abaixo



Fonte: BRASIL, 2014

### Procedimentos para determinação da temperatura da água usando termômetro de mercúrio

1. Usando um recipiente como o indicado pela figura 1, ou outro recipiente plástico, limpo, colete aproximadamente 100 mL de amostra na torneira onde deseja medir a temperatura;
2. Mergulhe o termômetro da água e deixe por 3 minutos aproximadamente;
3. Retire o termômetro e faça a leitura, cuja escala é °C;
4. Anote o valor na Planilha de controle que estiver usando.



Figura 1 – Copo de Becker plástico de 100 mL

<http://www.prolab.com.br/produtos>  
Acesso em 2017/09/20



Figura 2 – Termômetro

<http://www.prolab.com.br/produtos>  
Acesso em 2017/09/20

## APÊNDICE 6 – Procedimentos para Limpeza de Reservatório de Água de Abastecimento

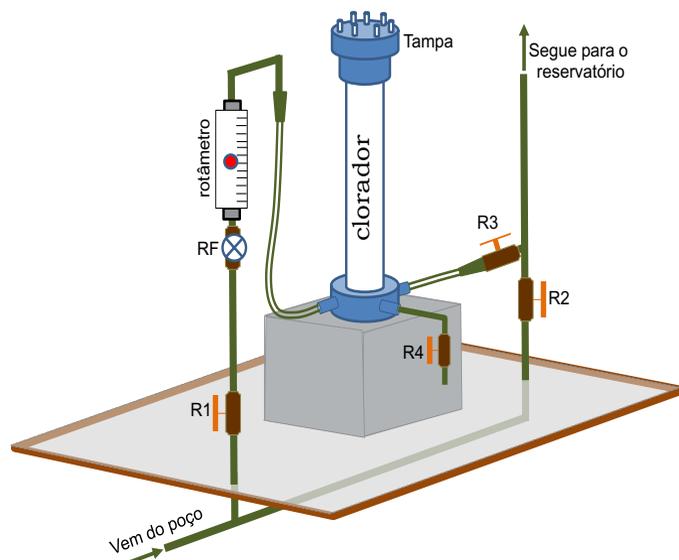
### Procedimentos para limpeza de reservatório de água de abastecimento

1. Vista-se adequadamente e tenha preparado todo o material que vai utilizar;
2. Desligue a motobomba e certifique-se que não está entrando mais água no reservatório;
3. Esvaziar o reservatório até sobrar cerca de 10 cm de água;
4. Feche o registro da saída de água para abastecimento e tampe, por dentro do reservatório a boca do tubo de saída;
5. Com uma escova de Nylon ou vassoura, escove as paredes do reservatório, começando de cima para baixo;
6. Por último escove o fundo e abra a descarga de fundo do reservatório, direcionando a água suja para fora;
7. Ligue a bomba e coloque mais 10 cm de água para um enxágue e limpeza das paredes, usando agora um pano limpo ou esponja;
8. Esvazie novamente o reservatório usando o dreno.;
9. Substitua, se necessário o pano de tamponamento da saída para consumo, ele pode ter ficado impregnado de sujeira e comprometer a limpeza;
10. Enxágue as paredes e fundo do reservatório com a solução de cloro preparada, usando o pulverizador e aguarde 30 minutos;
11. Remova o excesso de solução do fundo do reservatório, e termine passando um pano limpo e seco (a penas no fundo);
12. Retire o tampão e abra o registro da saída de água para abastecimento, feche o registro do dreno do reservatório e coloque a tampa de volta. Ligue a motobomba;
13. Meça a concentração de cloro na água que está saindo e certifique-se que está dentro da faixa recomendada.



Fonte das imagens acima:  
<https://www.vitoriasolucoesambientais.com.br/limpeza-de-reservatorios>  
Acesso em 2017/09/12

## APÊNDICE 7 – Procedimentos para verificação das Pastilhas do Clorador



**Figura 1** – Esquema de instalação de um clorador de pastilhas, próximo da saída de um poço

Fonte: O autor

### Procedimentos para inspeção e alimentação do clorador

- 1 – Desligar a motobomba antes de iniciar a operação para evitar o envio de água sem cloro para o reservatório;
- 2 – Fechar os registros de isolamento do fluxo de água R1 (entrada) e R3 (saída);
- 3 – Abrir o registro R4 (drenagem) para aliviar a pressão interna do clorador;
- 4 – Remover a tampa do clorador;
- 5 – Reabastecer o clorador com pastilhas, conforme necessidade, em função da frequência de manutenção e da concentração de cloro medida na saída do reservatório, e em seguida recolocar a tampa;
- 6 – Fechar o registro R4 e em seguida abrir o registro R3;
- 7 – Ligar a motobomba e em seguida abrir o registro R1;
- 8 – Os ajustes da concentração de cloro na saída do reservatório, quando necessários, devem ser feitos utilizando o registro de ajuste fino RF.

ISBN: 978-85-8388-121-6



9 788583 881216