



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJECTO DO CURSO

SISTEMA DE POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA

Discente: DIOGO, LUÍS ALVITO

Docentes: Prof. Doutor Eng<sup>o</sup> Jorge Nhambiu  
Prof. Doutor Eng<sup>o</sup> Geraldo Nhumaio

MAPUTO, DEZEMBRO DE 2010

ÍNDICE	Página
Lista de tabelas.....	iv
Lista de Figuras.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Definição do Sistema mecânico.....	1
1.2 Objectivo Geral.....	1
1.3 Objectivo Específico.....	1
1.4 Localização.....	1
CAPÍTULO I.....	2
UNIDADE DE FILTRAÇÃO: O filtro de areia.....	2
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
1.1 Características do filtro de areia.....	6
1.2 Classificação dos Filtros de areia.....	6
1.3 Objectivos do Filtro de areia.....	7
1.4 Factores que influem no Filtro de areia.....	7
1.5 Faixa de actuação do Filtro de areia.....	7
1.6 Especificações técnicas do filtro de areia.....	15
1.7 Manutenção do filtro de areia.....	15
1.8 factores que afectam a eficiência de filtração.....	16
1.9 cálculos principais e análise do desempenho do filtro de areia.....	16
1.10 cálculos parâmetros geométricos e hidráulicos.....	16
1.11 avaliação do desempenho de filtros de areia.....	22
CAPÍTULO II.....	23
UNIDADE DE PURIFICAÇÃO POR MEIO DE RAIOS UV EMITIDOS PELO SOL.....	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Radiação Ultravioleta (UV).....	25
2.2 Tipos de radiação UV.....	26
2.3 Purificação da água por radiação UV.....	26
2.4 Qualidade da água purificada por radiação UV.....	27
2.5 Vantagens e Inconvenientes da Purificação de água por radiação UV.....	28
2.6 Colectores Solares.....	29
2.7 Válvula de Retenção.....	29
2.8 Torneira.....	29

2.9 Cálculos principais do purificador de raios uv emitidos pelo sol.....	29
2.10 Parâmetros geométricos e hidráulicos.....	29
CAPÍTULO III.....	35
3. RESULTADOS OBTIDOS E VISTA GERAL DO POTABILIZADOR DE ÁGUA .....	35
CAPÍTULO IV.....	37
4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	37
Bibliografia .....	38

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Parâmetros da água potável [3] .....	3
Tabela 2: Vazões recomendadas de retrolavagem ( $m^3 h^{-1}$ ) e por unidade de área ( $L s^{-1} m^{-2}$ ) [2] .	6
Tabela 3: Relação entre o diâmetro efectivo e o tamanho das partículas. [2] .....	10
Tabela 4: Valores típicos de esfericidade ( $\psi$ ), factor de forma (FF) e porosidade ( $\epsilon$ ). [2].....	12
Tabela 5: Valores típicos da dureza dos materiais na escala Mohs. [2] .....	13
Tabela 6: Valores típicos da porosidade relacionando-os ao valor da esfericidade. [2] .....	14
Tabela 7: Parâmetros de projecto com faixa de valores recomendados. [2].....	15
Tabela 8: Especificações técnicas do filtro de areia. [2] .....	15
Tabela 9: Coeficiente de infiltração em função do tipo de solo. [3] .....	19
Tabela10: Características do Meio Filtrante e Equações de Perda de Carga. [2] .....	22
Tabela 11: Escolha do filtro de areia. [3] .....	23
Tabela 12: Quadro de valores obtidos na Unidade de Filtração. [2] .....	23
Tabela 14: Principais parâmetros da água purificada por radiação UV.....	27
Tabela 15: Vantagens e Inconvenientes da Purificação de água por UV. (Fonte: AquaAmbiente - 2004) .....	28
Tabela 16: Colector solar. [1] .....	29
Tabela17: Quadro meteorológico de Maputo, dia 18 de Novembro de 2010.....	32
Tabela 18: Quadro resumo do sistema de potabilização da água. ....	35

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Tipos de sistemas de drenagem utilizados em filtros de areia. ....	4
(Fonte: Catálogo da empresa Lakos 2009) .....	4
Figura 2: Tipos de filtro em função dos diâmetros de partículas a serem removidas. [2].....	8
Figura 3: Curva típica de distribuição granulométrica de materiais filtrantes. [3].....	10
Figura 4: Relação entre esfericidade, porosidade e nível de compactação. [2] .....	12
Figura 5: Padrões de formas de grãos inseridos em um círculo. [2] .....	12
Figura 6: Escala de comparação visual da forma geométrica e de esfericidade. [2].....	13
Figura 7: Escala de Mohs. [2].....	14
Figura 8: filtro de areia .....	17
Figura 9: radiação electromagnética. (Fonte: Solenoid.svg).....	24
Figura 10: O Equilíbrio Energético do Planeta. (Fonte: Equilibrio energetico.svg).....	25
Figura 12: Acção da radiação UV no DNA dos microrganismos. (Fonte: AquaAmbiente - 2004). .	27
Figura 13: Ângulo de incidência solar no colector. [1] .....	33
Figura 14: Radiação solar incidente ( $E_i$ ), reflectida ( $E_p$ ), transmitida ( $E_\tau$ ) e absorvida ( $E_\alpha$ ). [1]	33
Figura 15: Incidência solar na superfície terrestre. [1] .....	34
Figura 16: Vista geral do potabilizador de água.....	36

## 1. INTRODUÇÃO

Em algumas regiões rurais onde não existe rede de água canalizada a população consome **água turva e sem nenhum tratamento**. As fontes usadas são rios, lagos, lagoas, poços e água da chuva. Esta situação provoca doenças intestinais devido à **microrganismos e partículas nocivas contidas na água** tornando-se mais grave nas crianças e mulheres grávidas pela sua natureza.

### 1.1 DEFINIÇÃO DO SISTEMA MECÂNICO

O sistema mecânico de potabilização de água é um equipamento simples constituído na parte superior por um **filtro de areia** cilíndrico que retêm partículas sólidas, organismos de dimensões visíveis a olho nu através do processo de filtração obtendo **água incolor**. Na parte inferior contém um **purificador** cilíndrico de material translúcido incidido por toda volta por raios solares reflectidos por colectores (método ultravioleta). A base do purificador é cónica terminando por um pequeno orifício controlado por uma válvula de retenção. Esta operação de purificação elimina os microrganismos tornando a **água potável**.

### 1.2 OBJECTIVO GERAL

Elaboração de um projecto implementável à partir dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso e servindo-se das ferramentas básicas de engenharia dentro da realidade do País.

### 1.3 OBJECTIVO ESPECÍFICO

Elaboração de um sistema de potabilização da água.

### 1.4 LOCALIZAÇÃO

Zonas rurais onde há maior densidade populacional: unidades sanitárias, escolas primárias e orfanatos.

## CAPÍTULO I

### UNIDADE DE FILTRAÇÃO: O FILTRO DE AREIA

#### 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A **filtração** é a operação unitária pela qual se separa um sólido dum líquido ou gás mediante um meio poroso, que retém o sólido, mas deixa passar o fluído.

**Areia** vem da do latim arena, que representa um conjunto de pequenos grânulos juntos. Como exemplos de areia temos a monazítica, argilosa e calcária. É uma substância mineral em minúsculos grânulos ou em pó, resultante da degradação de rochas silicosas.

Os **filtros de areia** são equipamentos utilizados na filtragem de água que apresentam como elemento filtrante uma ou mais camadas de materiais granulares, principalmente areia e/ou pedregulhos.

#### Componentes do filtro de areia

Esses equipamentos consistem basicamente de tanques ou reservatórios cilíndricos metálicos ou de poliéster, cujo no interior se coloca uma camada de areia pela qual se filtra a água. A boca de entrada do afluente, na parte superior, sendo o fluído distribuído no interior do tanque por intermédio de uma placa difusora. Na parte inferior da camada de areia são instalados os sistemas de drenagem, que direccionam a água já filtrada para a saída. Esses filtros devem possuir uma abertura na parte superior e outra na inferior, para preenchimento e o esvaziamento da areia no tanque.

#### Características estruturais dos filtros de areia

Os filtros de areia são equipamentos que funcionam sob diversos fundamentos da mecânica dos fluidos. Por essa razão, é necessário o conhecimento de um conjunto de elementos estruturais que possibilite promover seu adequado funcionamento. Os dois elementos estruturais internos mais importantes do filtro de areia são:

- **Sistema de difusão do afluente** (o difusor de entrada) e o
- **Sistema de drenagem.**

Tabela 1: Parâmetros da água potável [3]

Parâmetro	Valor Máximo Recomendado	Valor Máximo Admissível
Substâncias que produzem coloração	5 U (colorimetria Pt - Co)	50 U (colorimetria Pt - Co)
Matérias em suspensão	5 U (turbidometria)	25 U (turbidometria)
Sólidos totais	500 mg/l	1500 mg/l
pH	7,0-8,5	6,5-9,2
Óleos minerais	0,01 mg/l	0,30 mg/l
Compostos fenólicos	0,001 mg/l	0,002 mg/l
Dureza total	2 mEq/l (100 mg/l CaCO <sub>3</sub> )	10 mEq/l (500 mg/l CaCO <sub>3</sub> )
Cálcio	75 mg/l	200 mg/l
Cloretos	200 mg/l	600 mg/l
Ferro total	0,1 mg/l	1,0 mg/l
Fluoretos	0,6 mg/l	1,2 mg/l
Magnésio	30 mg/l	150 mg/l
Manganês (manganésio)	0,05 mg/l	0,5 mg/l
Sulfatos	200 mg/l	400 mg/l
Zinco	5 mg/l	15 mg/l
Arsénio	--	0,05 mg/l
Cádmio	--	0,01 mg/l
Chumbo	--	0,1 mg/l
Cianetos	--	0,05 mg/l
Mercúrio total	--	0,001 mg/l
Nitratos	--	45 mg/l
Selénio	--	0,01 mg/l

### Sistema de difusão do afluente

O difusor ou placa difusora é uma estrutura normalmente metálica, posicionada na extremidade superior interna do filtro, abaixo da boca de entrada da água, sendo responsável por distribuir uniformemente o afluente na superfície filtrante;

O mau dimensionamento e inadequações do projecto estrutural desse acessório podem causar movimentos na superfície do leito filtrante, prejudicando o desempenho hidráulico dos filtros. Se o fluxo de entrada de água é direccionado para as paredes do filtro, ocorre uma intensificação da turbulência do fluido sobre a superfície filtrante, movimentando as partículas

de areia dessas regiões para o centro do leito, criando caminhos preferências para a filtração. Esses caminhos preferências diminuem a área efectiva e a altura da camada de filtração, fazendo que a contaminação do leito ocorra rapidamente, reduzindo a eficiência na remoção do filtro e, conseqüentemente, aumentando a frequência de retrolavagem dos filtros.

Os difusores internos não são indicados para dispersar altas vazões, recomendando o valor de  $61 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  para a máxima taxa de filtração, sendo que valores maiores determinaria uma escavação da camada filtrante, formando cones ou montes no centro do filtro durante a filtração e promovendo uma camada de menor espessura próxima a parede do filtro.

### Sistemas de drenagem

O sistema de drenagem dos filtros de areia proporciona condições ideais para a lavagem da camada e permite a condução do efluente sem o arraste de impurezas e/ou material filtrante no sistema. Geralmente são constituídos por braços colectores ou drenos (comercialmente chamados de crepinas),

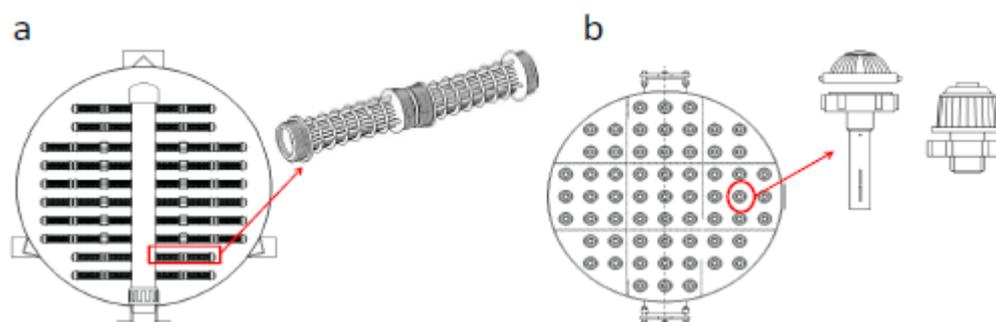


Figura 1: Tipos de sistemas de drenagem utilizados em filtros de areia.

(Fonte: Catálogo da empresa Lakos 2009)

A escolha de um tipo de fundo de filtro depende principalmente, de factores económicos, da qualidade da operação e manutenção e da forma com que a água para lavagem é fornecida.

Ao avaliar **filtros de areia lentos**, os principais problemas decorrentes do mau funcionamento do sistema de drenagem por ocasião da lavagem são os desarranjos da camada suporte e a formação de bolos de lodo. Os drenos dos **filtros rápidos** descendentes devem atender dois princípios: colectar a água filtrada e distribuir uniformemente a água e, eventualmente o ar, para lavagem.

Os drenos ou crepinas podem ter diferentes formatos e dimensões, sendo o seu

posicionamento e número de elementos definidos por critérios dos fabricantes. As crepinas comerciais possuem geralmente ranhuras com largura igual a 0,6 mm ou 0,7 mm, adequadas para areia com granulometria média.

### Processo de filtração em filtros de areia

O processo de retenção de sólidos suspensos no meio granular ou poroso (filtro de areia) ocorre por meio de três acções distintas:

- **Peneiramento ou coamento:** que é um fenómeno superficial que retém partículas de tamanho superior aos poros;
- **Sedimentação:** a passagem da água pelos poros permite que cada espaço poroso funcione como um pequeno decantador, favorecido pela redução da velocidade da água;
- **Adesão e coesão:** o contacto entre uma partícula em suspensão com o grão do material filtrante ou sedimentos, cria forças de atracção eléctrica, que aglomeram-se em partículas mais grossas, o que explica como os filtros retêm partículas muito menores que o tamanho dos poros.

Os filtros granulares apresentam mecanismos de filtração extremamente complexos, influenciados, principalmente, por características físicas e químicas da água e do meio filtrante, da taxa de filtração e do método de operação dos filtros. A interacção entre estas características resulta na acção de três mecanismos distintos: **transporte**, **aderência** e **desprendimento**. Dessa forma, a retenção de partículas em filtros de areia ocorre tanto pela acção de profundidade como pela acção superficial do leito. No caso da filtração com acção de profundidade, a retenção das impurezas ocorre em todo meio filtrante. Já com acção superficial, a retenção das impurezas ocorre somente na superfície (ou seja, nas primeiras camadas do meio filtrante).

À medida que aumenta o volume de material depositado no elemento filtrante, a velocidade intersticial aumenta pela diminuição da porosidade, com um correspondente aumento da perda de carga e das forças hidrodinâmicas de cisalhamento, arrastando, em consequência, certa quantidade de partículas para o interior do leito filtrante. O aumento de impureza no leito filtrante exige a lavagem (**retrolavagem**) do filtro pela inversão do fluxo da água.

### Processo de limpeza (retrolavagem) de filtros de areia

**Retrolavagem** é o procedimento de passagem da água no filtro em sentido contrário ao fluxo de filtração com o objectivo de remover partículas orgânicas e inorgânicas retidas no meio filtrante. Para a realização da retrolavagem, utiliza-se, normalmente, água filtrada proveniente de um ou vários filtros do conjunto de

filtração. Para que o processo de retrolavagem seja executado de forma correcta é preciso que ocorra a fluidização do leito filtrante.

O valor da vazão de retrolavagem tem de ser suficiente para originar a **fluidização** do leito filtrante, ou seja, a passagem reversa da água pela camada de areia deve determinar um estado de suspensão das partículas de areia, com expansão progressiva da altura do leito, atingindo um limite que possibilite a manutenção da areia dentro do filtro e remova as impurezas.

A vazão de retrolavagem que determina a fluidização do leito varia com o diâmetro efectivo médio da areia, com altura da camada filtrante e com o modelo construtivo do filtro.

A retrolavagem deve ser realizada a cada aumento de 10 a 20 % da perda de carga correspondente ao filtro limpo.

Tabela 2: Vazões recomendadas de retrolavagem ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{L s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) [2]

Diâmetro médio Efectivo ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro do filtro (mm)				
	457	610	762	914	1220
1500	11,6 (19,7)	20,7 (19,7)	32,0 (19,5)	45,7 (19,4)	81,8 (19,4)
780	5,9 (10,0)	10,9 (10,4)	16,8 (10,2)	23,8 (10,1)	42,7 (10,2)
660	7,3 (12,4)	12,9 (12,3)	20,2 (12,3)	28,6 (12,1)	51,1 (12,1)
460	5,9 (10,0)	10,9 (10,4)	16,8 (10,2)	23,8 (10,1)	42,7 (10,2)

## 1.1 CARACTERÍSTICAS DO FILTRO DE AREIA

As principais características e vantagens do filtro de areia de alta taxa em relação aos filtros convencionais são:

- Operação em maiores taxas
- Alta remoção de sólidos (sólidos no efluente de 1 a 10 ppm), partes por milhão. 10.000 ppm corresponde a 1 %. Unidade utilizada para representar concentração muito baixa de um componente ou impureza em um material.
- Operação à pressão atmosférica,
- Não possui partes móveis nem válvulas automáticas
- Suporta altas concentrações de sólidos (20 a 150 ppm)
- A limpeza da areia e a rejeição dos sólidos são realizadas de forma contínua, não necessitando parada do sistema para contralavagens periódicas.

## 1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS DE AREIA

Podem ser classificados de acordo com a taxa de filtração, sendo considerados:

- de acção rápida para valores entre  $120$  a  $240 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$  ou

- lentos entre 3 a 6 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

sendo, portanto classificados como:

- de acção rápida,
- pressurizados e
- de fluxo descendentes.

### 1.3 OBJECTIVOS DO FILTRO DE AREIA

Os filtros de areia têm como objectivo retirar da água: sólidos em suspensão e impurezas mais grosseiras, como barro, fios, folhas. Consiste basicamente, na retenção de impurezas e partículas em suspensão na água. Actua como um “coador” (os elementos filtrantes normalmente são cartuchos, areia, carvão, seixos, velas ou refis).

### 1.4 FACTORES QUE INFLUEM NO FILTRO DE AREIA

As condições em que se efectua a filtração variam muito e a escolha do tipo de equipamento mais apropriado dependerá dum grande número de factores, entre os quais figuram:

- As propriedades do fluido, em particular a sua viscosidade, massa específica e propriedades corrosivas.
- A natureza do sólido, a dimensão e forma das partículas, a distribuição granulométrica e as características de empilhamento.
- A concentração de sólidos em suspensão.
- A quantidade de material a movimentar e o seu valor.
- O facto de o material valioso ser sólido, o fluido ou ambos.
- O facto de ser ou não necessário lavar os sólidos filtrados.
- O facto de ser ou não prejudicial ao produto uma contaminação muito leve causada pelo contacto da suspensão ou do filtrado com os vários componentes do equipamento.

### 1.5 FAIXA DE ACTUAÇÃO DO FILTRO DE AREIA

Quando as águas a serem tratadas apresentarem características que se aproximem dos limites de utilização para esse tipo de filtro (10 ppm de material em suspensão e 2.000 bactérias por ml) devem ser adoptadas as taxas de filtração em torno de 3,0m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Esse tipo de filtro é o mais indicado na prevenção à obstrução de emissores, principalmente quando a água apresentar contaminantes inferiores a 74µm e superiores a 20 µm, onde os filtros de tela, disco e hidrociclones não conseguem actuar.

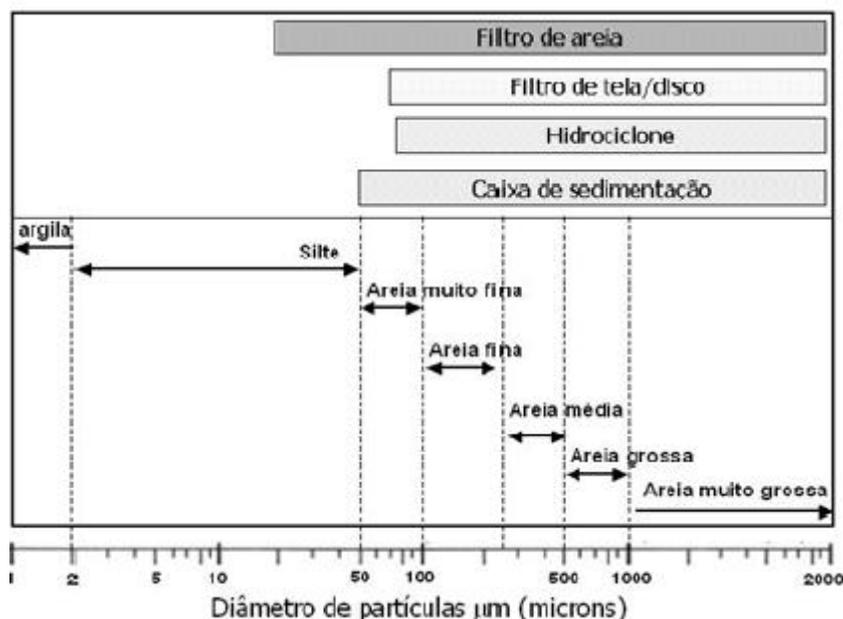


Figura 2: Tipos de filtro em função dos diâmetros de partículas a serem removidas. [2]

### Características do leito filtrante

#### Caracterização da altura do leito filtrante

Como a filtração das impurezas presentes na água é realizada pela acção da profundidade do leito filtrante, é preciso definir adequadamente a espessura ou altura da camada de areia e, assim, garantir a optimização da operação dos filtros de areia. Estima-se leitos de areia de 0,4 m (0,5 m) a 0,6 m (1,0 m), não excedendo o valor máximo de 1,0 m, de forma a impedir, a formação de espaços com agregados de maior tamanho após a retrolavagem e reduzir a eficiência de remoção de impurezas do filtro.

A espessura do leito filtrante influencia a qualidade do efluente até certo valor, chamada **espessura crítica**, porém, camadas maiores não melhorariam a qualidade da água, e sim aumentariam o tempo de contaminação total e, portanto, requerendo limpezas mais frequentes, devido ao aumento da perda de carga causada pela profundidade da camada.

As camadas filtrantes não podem ultrapassar 75% do corpo do filtro, permitindo um espaço vazio suficiente entre a base do difusor e a superfície do leito para a fluidização das camadas durante a retrolavagem.

#### Caracterização do material filtrante

O comportamento hidráulico, a eficiência de filtração e a eficácia da retrolavagem requerida nos filtros de areia dependem dos seguintes factores: **diâmetro efectivo de partículas, coeficiente de uniformidade dos grãos de areia, esfericidade, friabilidade, massa específica, porosidade da camada formada pelos grãos e a relação entre a espessura e o tamanho médio dos grãos** que o compõe.

A escolha correcta do elemento filtrante é importante e afecta a definição de variáveis relacionadas ao projecto, tais como: taxa de filtração disponível, qualidade do afluente, qualidade desejável do efluente e da espessura da camada filtrante. As propriedades granulométricas da camada filtrante definirão a estratégia de filtragem, pois, a remoção de impurezas é inversamente proporcional ao tamanho da granulometria da areia.

O uso de areia muito grossa pode resultar em tempos de filtração mais longos, porém, a qualidade do efluente é prejudicada, podendo causar o entupimento dos emissores, enquanto uma areia fina produz um efluente de melhor qualidade, resistindo à penetração dos sólidos que ficam retidos na superfície e com filtração de curta duração. As impurezas depositados na superfície deste leito tendem a se compactar, tornando-se difícil de serem removidos pela lavagem do mesmo (retrolavagem), iniciando a **deterioração da camada filtrante**, com a formação de bolas de lodo, gretas e fendas.

O critério utilizado para a escolha correcta da granulometria da areia para as condições do projecto deve considerar a retenção de partículas que podem entupir.

### **Características granulométricas**

As dimensões físicas características de uma determinada areia a ser utilizada em filtros é obtida no ensaio de distribuição granulométrica do material granular (curva típica de distribuição de materiais filtrantes), realizado pela passagem da amostra por um conjunto de peneiras padronizadas.

É necessária a determinação de dois parâmetros, diâmetro efectivo de partículas (D10) e coeficiente de uniformidade (CU), para a correcta selecção do material filtrante.

A Norma ABNT EB-2097 (1990), que caracteriza as condições para recebimento e colocação de material filtrante (areia, antracito e/ou pedregulho) como camada suporte em filtros de abastecimento público de água, estabelece também o uso desses dois parâmetros físicos na classificação da areia, incluindo uma terceira análise de solubilidade em ácido para detectar o grau de outras impurezas presentes na amostra, realizada principalmente com o carbonato de cálcio.

A determinação de outra característica, a friabilidade, é importante na avaliação da granulometria da areia, pois determina sua facilidade de fragmentação (quebra) do grão.

A forma dos grãos permite maiores ou menores retenções, tornando assim necessário caracterizar a esfericidade predominante dos materiais usados na filtragem.

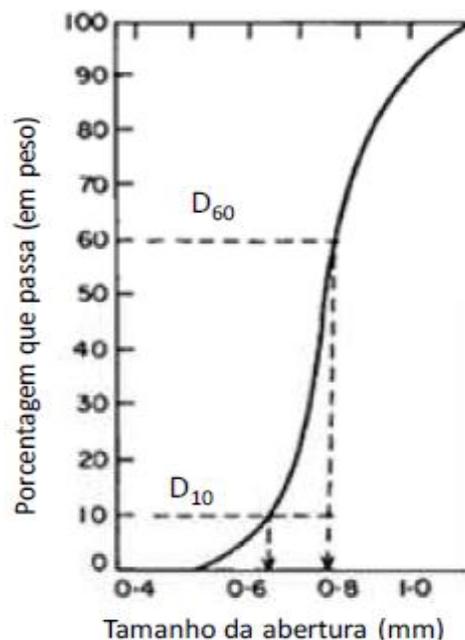


Figura 3: Curva típica de distribuição granulométrica de materiais filtrantes. [3]

### Diâmetro Efectivo

O tamanho dos grãos é responsável pela eficiência de filtração. A sua escolha depende das impurezas presentes na água, da qualidade do efluente desejado e do menor diâmetro do orifício de saída.

O **diâmetro efectivo** ( $D_{10}$ ) é definido como sendo diâmetro da abertura da peneira que permite a passagem de 10% da amostra do material granular, sendo que o seu valor caracteriza o menor diâmetro de partícula na classificação da areia e indica o tamanho da partícula que será removida pelo meio filtrante.

Tabela 3: Relação entre o diâmetro efectivo e o tamanho das partículas. [2]

Material	Diâmetro efectivo ( $D_{10}$ ) (mm)	Tamanho das partículas removidas (mm)
Areia de sílica	0,8	> 0,06
Areia de sílica	0,55	> 0,04
Areia de sílica	0,34	> 0,02

Quanto menor for o diâmetro efectivo ( $D_{10}$ ) da areia, melhor será a qualidade do efluente, mas menor será o tempo de efectiva filtração do filtro, sendo, portanto, necessário a realização de um número maior de retrolavagens.

As partículas que podem atravessar o leito filtrante são da ordem de 1/10 a 1/12 do diâmetro efectivo ( $D_{10}$ ), ou seja, um filtro que possui uma areia com  $D_{10}$  igual a 0,75 mm irá reter impurezas maiores que 0,075 mm, equivalente a 200 Mesh.

A importância da determinação do  $D_{10}$  é de permitir a caracterização do diâmetro eficaz da areia, próximo de 1/7 do valor de  $D_{10}$ .

### **Coeficiente de uniformidade**

O coeficiente de uniformidade (CU) ou coeficiente de desuniformidade (CD) caracteriza-se por ser o intervalo de diâmetros de partículas dentro de uma mesma classificação, sendo definido como a relação entre a abertura da peneira que permite a passagem de 60% ( $D_{60}$ ) do material poroso e a abertura da peneira que permite a passagem de 10% ( $D_{10}$ ) do mesmo material

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

O coeficiente de uniformidade (CU) é uma propriedade importante na filtração, pois a penetração das impurezas ao longo do meio filtrante esta intimamente relacionada a esse coeficiente. Quanto menor o valor de CU, mais uniforme será o material, mais profunda será a retenção das impurezas e maior será a taxa de filtração.

### **Esfericidade**

Recomenda-se a utilização de grãos de areia que possuam arestas afiadas e angulares que permitam a formação de trajetórias tortuosas para o fluxo da água, criando assim, um maior percurso e, possibilitando uma maior retenção de sólidos suspensos e algas.

Quanto mais irregular for a forma geométrica dos grãos, melhor o desempenho durante a filtração, enquanto os grãos de forma arredondada apresentam maior eficiência durante a retrolavagem e perda de carga final entre 20% a 30% inferior àquela desenvolvida em grãos de forma irregular.

A esfericidade, é definida como sendo a relação entre a área superficial de uma esfera de mesmo volume do grão e a área superficial do grão propriamente dito.

Para partículas com formas irregulares a esfericidade é determinada com métodos aproximados, como a medida de três dimensões características do grão que podem ser obtidas com método óptico, densidade e volumétrico ou métodos de gás - expansão,

$$\psi = \frac{r}{\sqrt{s \cdot t}}$$

Sendo: r é a dimensão menor da partícula (L), s e t são as outras dimensões (L).

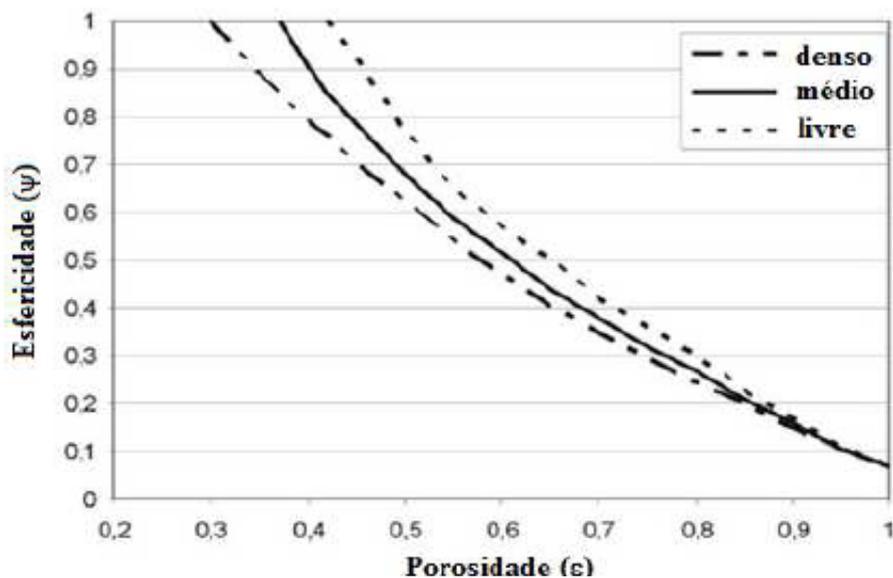


Figura 4: Relação entre esfericidade, porosidade e nível de compactação. [2]

Tabela 4: Valores típicos de esfericidade ( $\psi$ ), factor de forma (FF) e porosidade ( $\epsilon$ ). [2]

Forma do grão	Esfericidade ( $\psi$ )	Factor de forma (FF)	Porosidade ( $\epsilon$ )
Esférica (a)	1,00	6,0	0,38
Arredondada (b)	0,98	6,1	0,38
Desgastado (c)	0,94	6,4	0,39
Agudo (d)	0,81	7,4	0,40
Angular (e)	0,78	7,7	0,43
Triturado (f)	$\leq 0,70$	8,5	0,48

(

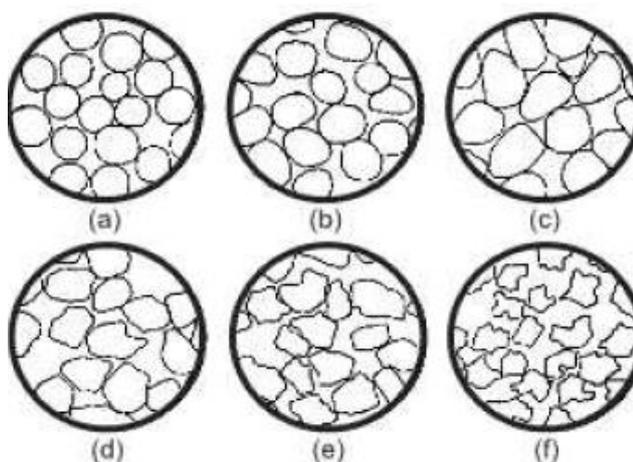


Figura 5: Padrões de formas de grãos inseridos em um círculo. [2]

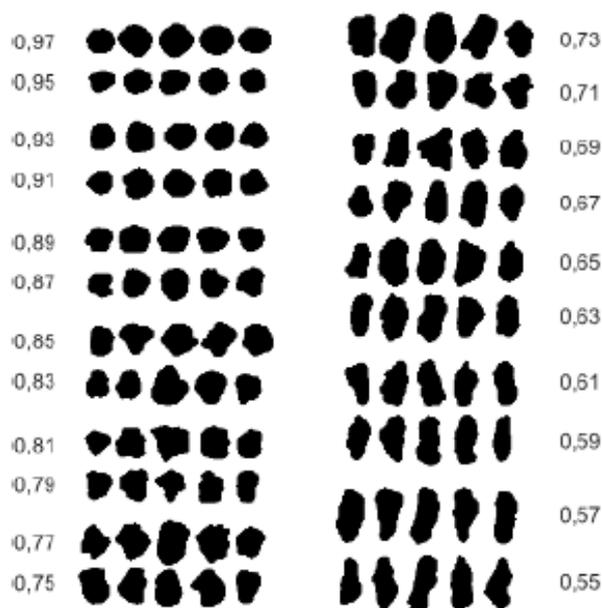


Figura 6: Escala de comparação visual da forma geométrica e de esfericidade. [2]

### Diâmetro Equivalente ou volumétrico

É uma grandeza física usada nos estudos de dinâmica dos fluidos que permite caracterizar secções de diâmetro não circulares individualmente, útil nas avaliações de comportamentos característicos de fenómenos de transporte, tais como a determinação do número de Reynolds, responsável pela classificação do tipo de escoamento em leito poroso. O diâmetro equivalente de um grão não esférico é igual ao de um esférico e exibem propriedades idênticas, como, aerodinâmica, hidrodinâmica, óptica e eléctrica da partícula não esférica investigada.

### Friabilidade ou Dureza

Os materiais filtrantes são expostos a possíveis condições que podem causar a **fragmentação** da sua estrutura geométrica devido a três possíveis causas de ruptura dos grãos: no transporte, durante a filtração e na retrolavagem.

A dureza dos grãos (friabilidade) é de suma importância, pois define a durabilidade dos grãos no leito filtrante. Esta dureza é descrita pela escala de Mohs, o qual envolve uma enumeração de dureza baseada na facilidade de alguns minerais para se desgastar ou ser fragmentado por outro grão, ainda que a aplicação de testes para determinar a dureza em grãos seja difícil.

Como a areia é formada principalmente de quartzo, elemento bastante duro, sua caracterização quanto à dureza não é necessária para efeitos práticos.

Tabela 5: Valores típicos da dureza dos materiais na escala Mohs. [2]

Material	Dureza
Quartzo	7

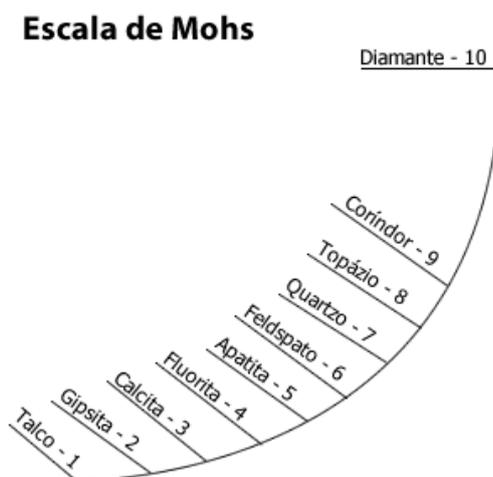


Figura 7: Escala de Mohs. [2]

### Porosidade fixa da camada

A porosidade fixa da camada ( $\epsilon$ ) é a razão entre o volume vazio por volume total da camada, expressada por fracção decimal ou percentagem. Esta propriedade afecta o valor da vazão (velocidade) requerida na retrolavagem, à perda de carga da camada e a capacidade de retenção de impurezas do leito filtrante.

Tabela 6: Valores típicos da porosidade relacionando-os ao valor da esfericidade. [2]

Propriedades do Grão	Areia Sílica
Massa específica ( $\rho$ ) ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	2650 - 2670
Porosidade ( $\epsilon$ )	0,42 - 0,47
Esfericidade ( $\Psi$ )	0,7 - 0,8

Dessa forma, dados precisos na determinação da porosidade em ensaios de filtros tornam-se essenciais para determinar correctamente o diferencial de pressão exigido durante a limpeza do leito.

### Massa específica ou Densidade

A massa específica ou densidade do grão é definida como a massa do grão por unidade de volume deste grão. O conhecimento do valor desse parâmetro é importante para determinação da vazão requerida de retrolavagem e, também fundamental, no cálculo de perda de carga, fluidização e expansão do meio filtrante.

Tabela 7: Parâmetros de projecto com faixa de valores recomendados. [2]

Parâmetros de Projecto	Faixa recomendada de valores
Taxa de filtração	0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h (01 -02 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)
Área por leito de filtro	Menor de 200 m <sup>2</sup> (p/facilitar a limpeza dos filtros)
Número de leitos de filtro	Mínimo de 2 camadas
Profundidade de leito de filtro	1 m (0,7 mínimo de profundidade de areia)
Filtrante	Tamanho efectivo (ES) = 0,15 - 0,35 mm
	Coeficiente de Uniformidade (CU) = 2,3
Altura de água sobreflutuante	0,7 - 1 m (máximo 1,5 m)
Máxima velocidade nos tubos	3 m/s
Pressão máxima de operação	6 kgf/cm <sup>2</sup> (60 mca)
Pressão mínima de operação	2 kgf/cm <sup>2</sup> (20 mca)
Pressão ideal de operação	3 a 4 kgf/cm <sup>2</sup> (30 a 40 mca)
Temperatura máxima	50°C
Temperatura Mínima:	5°C

## 1.6 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO FILTRO DE AREIA

Fabricado em Polietileno + Fibra de vidro, Aço carbono + Fibra de vidro e Aço inoxidável

Tabela 8: Especificações técnicas do filtro de areia. [2]

Vazão max (l/h)	100 à 5000*	500 à 10000*	5000 à 60000**	100 à 60000*
Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,5 à 6,0	1,5 à 4,0	1,5 à 4,0	1,5 à 6,0
Mat. construtivo	PE + FV	Aço Inoxidável	Aço carb. + FV	PE + FV
Operação	Manual	Manual/automat.	Manual	Automática

\* Garantia total de 05 anos contra corrosão.

\*\* Garantia de 05 anos contra corrosão interna.

## 1.7 MANUTENÇÃO DO FILTRO DE AREIA

Logo após um ciclo, é retrolavado o filtro com água em uma vazão aproximada de 20 - 25% maior que a vazão de circulação normal, para permitir que durante a lavagem o leito se expanda e seja acomodado os meios filtrantes. Também é possível injectar ar no tanque desde a parte inferior para aumentar a turbulência e acelerar a expansão do leito. Os ciclos podem durar entre 12 e 24 horas (autonomia), dependendo do desenho do filtro, e as retrolavagens duram entre 15 e 60 minutos; durante este tempo, não será produzida água filtrada, portanto, caso necessário contar com um tanque de armazenamento de água potável para abastecer o processo posterior. Pela retenção das partículas suspensas no meio filtrante, os filtros sujam com

o passar do tempo, causando aumento na perda de carga, sendo necessário proceder à limpeza para retirar todas as impurezas retidas e retornar a eficiência de limpeza à condição original. Essa limpeza, que é realizada mediante a mudança na direcção de fluxo a partir da tubulação de saída, é denominada de **retrolavagem**. Assim, tanto a tubulação de entrada deve possuir uma derivação para eliminar a água suja, como o sistema deve permitir essa mudança de direcção de forma manual ou automática.

### **Cuidados na Manutenção**

Limpeza a cada 25 dias; raspar camada superficial de areia. Repor posteriormente a areia lavada.

### **Capacidade de remoção**

A capacidade de remoção referida é em relação a água potável.

Turbidez =100%;      bactérias = 96%      ferro = 60%      cor = 20 a 30%.

## **1.8 FACTORES QUE AFECTAM A EFICIÊNCIA DE FILTRAÇÃO**

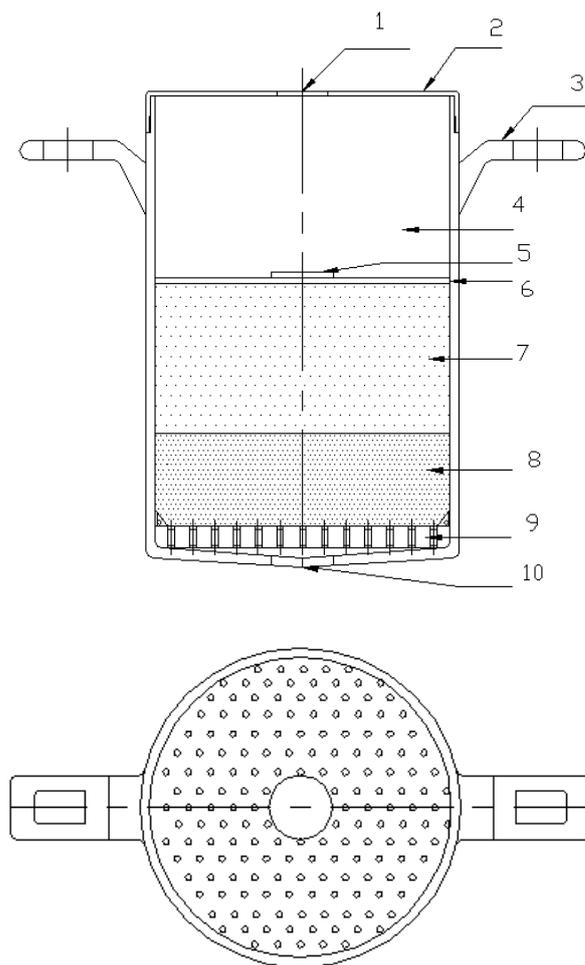
As variáveis mais importantes, que influenciam na performance do filtro são:

- Tamanho e graduação do meio filtrante
- As características do material a ser retido, como tamanho e resistência dos grãos.

## **1.9 CÁLCULOS PRINCIPAIS E ANÁLISE DO DESEMPENHO DO FILTRO DE AREIA**

### **1.10 CÁLCULOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS E HIDRÁULICOS**

O dimensionamento dos filtros de areia depende do tipo de água a tratar, do teor dos sólidos em suspensão, da existência óleo e gorduras em suspensão, da Demanda química de oxigénio COD/BOD demanda bioquímica de oxigénio ou do teor em ferro.



## Legenda

1. Orifício de entrada (boca)
2. Tampa do Filtro de areia
3. Pega(s) do filtro de areia
4. Espaço para o afluente à aplicar
5. Placa de distribuição
6. Rede de entrespaços maiores
7. Leito de areia de granulometria maior  $D_{10}$  0,55 mm e profundidade 250 mm.
8. Leito de areia de granulometria menor  $D_{10}$  0,34 mm e profundidade 150 mm
9. Crepina
10. Orifício de saída

Figura 8: filtro de areia

A taxa de filtração óptima de um bio filtro lento de areia é de  $100 \text{ L/m}^2/\text{hora}$ , embora seja admissível que fique compreendida entre  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  ( $83 \text{ L/m}^2/\text{hora}$ ) a  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  ( $250 \text{ L/m}^2/\text{hora}$ )

## 1. Dimensões do Filtro

Espessura:  $\delta_{\text{Filtro}} = 1,5 \text{ mm}$       Altura:  $H = 750 \text{ mm}$       Diâmetro:  $D = 500 \text{ mm}$

## Área do filtro

$$S_{\text{Filtro}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} \cdot H \quad (1)$$

$$S_{\text{Filtro}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,5^2}{4} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,5}{2} \cdot 0,75 = 1,38 \text{ m}^2$$

## Volume do filtro

$$V_{\text{Filtro}} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H \quad (2)$$

$$V_{\text{Filtro}} = \pi \cdot \frac{0,5^2}{4} \cdot 0,75 = 0,148 \text{ m}^3$$

### Área do difusor ou placa difusora

$$S_{\text{Difusora}} = \pi \cdot \frac{D_{\text{difusor}}^2}{4} \quad (3)$$

$$D_{\text{difusor}} = 0,1 \text{ m}$$

$$S_{\text{Difusora}} = \pi \cdot \frac{0,1^2}{4} = 0,0078 \text{ m}^2$$

## 2. Taxa de Filtração

A taxa de filtração óptima de um bio filtro lento de areia é de 100 L/m<sup>2</sup>/hora, embora seja admissível que fique compreendida entre 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia (83L/m<sup>2</sup>/hora) a 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia

(250 L/m<sup>2</sup> /hora)

$$T_{\text{Superf}} = \frac{Q}{S_{\text{Filtro}}} \quad T_{\text{Volumetric}} = \frac{Q}{V_{\text{areia}}} \quad (4)$$

Em que:

$T_{\text{Superf}}$  é a taxa superficial em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hora

$T_{\text{Volumetric}}$  é a taxa volumétrica em m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/hora

$Q$  é a vazão de água em  $\frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$

$S_{\text{Filtro}}$  é a área do filtro m<sup>2</sup>

$V_{\text{areia}}$  é o volume de areia em m<sup>3</sup>

## 3. Volume de areia

$$V_{\text{areia}} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h \quad (5)$$

$$V_{\text{areia}} = \pi \cdot \frac{0,5^2}{4} \cdot 0,4 = 0,079 \text{ m}^3, \text{ h é a profundidade total das camadas de areia em metros}$$

## 4. Vazão de água

$$Q = T_{\text{Superf}} \cdot S \quad Q = 0,1 \cdot 1,38 = 0,138 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

## 5. Taxa volumétrica

$$T_{\text{Volumetric}} = \frac{Q}{V} = \frac{0,138}{0,079} = 1,7 \text{ m}^3 / \text{m}^3 / \text{hora}$$

**6. Tempo de contacto da água crua com a areia**

$$T_c = \frac{V_{\text{areia}}}{Q} \quad (6)$$

$$T_c = \frac{0,079}{0,138} \cdot 60 = 34 \text{ min.}$$

Em que:

$T_c$  é o tempo de contacto em min.

$V_{\text{areia}}$  é o volume de areia em  $\text{m}^3$

$Q$  é a vazão de água em  $\frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$  ou  $\frac{\text{m}^3}{\text{min.}}$

**7. Área de infiltração**

$$S_{\text{infiltrac}} = \frac{V}{C_i} \quad (7)$$

$$S_{\text{infiltrac}} = \frac{138}{128} = 1,08 \text{ m}^2$$

Em que:

$S_{\text{infiltrac}}$  é a área de infiltração

$V$  é o volume de contribuição diária em  $\frac{\text{l}}{\text{dia}}$

$V = N \cdot C$  sendo  $N$  número de contribuintes e  $C$  contribuição unitária

$C_i$  é coeficiente de infiltração/percolação do terreno  $\text{L}/\text{m}^2/\text{dia}$

Tabela 9: Coeficiente de infiltração em função do tipo de solo. [3]

Tipos de Solos	Coeficiente de Percolação ( $\text{L}/\text{m}^2/\text{dia}$ )	Absorção Relativa
Areia grossa ou cascalho	Maior que 140	Rápida
Areia fina	140 - 70	Media

**8. Coeficiente de permeabilidade para solos granulares: Hazen's**

$$k = C \cdot D_{10}^2 \quad (8)$$

$$k = 0,01 \cdot 0,65^2 = 0,004 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Em que:

$k$  é o coeficiente de permeabilidade em  $\text{m}/\text{s}$

$c$  é o factor de permeabilidade que varia de 0,01...0,015

$D_{10}$  é o diâmetro efectivo em  $\text{mm}$

## 9. Taxa média de Filtração

$$T_m = \frac{Q \cdot 86400}{N \cdot S_{\text{Filtro}}} \quad (9)$$

$$T_m = \frac{Q \cdot 86400}{N \cdot S_{\text{Filtro}}} = \frac{0,138 \cdot 86400}{3600 \cdot 1 \cdot 1,38} = 2,4 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \cdot \text{dia}$$

Em que:

$T_m$ : Taxa média de Filtração ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ )

$Q$ : Vazão da Instalação de Filtração ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$N$ : Número de filtros na bateria

$S_{\text{Filtro}}$ : Área de um filtro ( $\text{m}^2$ )

## 10. Perda de Carga

- **No Fundo do Filtro**

$$h_1 = \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left[ \frac{S_{\text{Filtro}} \cdot T}{86400 \cdot N_o \cdot S_o} \right]^2 \quad (10)$$

$$h_1 = \frac{1,67}{2 \cdot 9,8} \cdot \left[ \frac{1,38 \cdot T}{86400 \cdot 108 \cdot 0,0000785} \right]^2 = 1,81 \cdot 10^{-7} \cdot T^2$$

Em que:

$h_1$ : Perda de carga no fundo dos filtros (m)

$g$ : Aceleração da gravidade =  $9,8 \text{ m/s}^2$

$T$ : Taxa de filtração ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ )

$N_o$ : Número total de orifícios, assim têm-se 108 orifícios

$S_o$ : Área dos orifícios ( $\text{m}^2$ ),

$$S_o = \pi \cdot \frac{D_o^2}{4} = 0,0000785 \text{ m}^2 \text{ sendo } D_o = 10 \text{ mm}$$

- **Na boca de Entrada ao Filtro**

$$h_2 = 1,67 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{1,67}{2 \cdot g} \cdot \left[ \frac{S_{\text{Filtro}} \cdot T}{86400 \cdot A_c} \right]^2 \quad (11)$$

$$h_2 = \frac{1,67}{2 \cdot 9,8} \cdot \left[ \frac{1,38 \cdot T}{86400 \cdot 0,00502} \right]^2 = 8,63 \cdot 10^{-7} \cdot T^2$$

Em que:

$h_2$ : Perda de carga na boca de entrada (m)

$S_c$ : Área da boca ( $m^2$ )

$$S_o = \pi \cdot \frac{D_s^2}{4} = 0,00502 \text{ m}^2 \quad \text{onde } D_s = 0,08 \text{ m}$$

- **Na Saída do Filtro**

$$h_3 = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} = \frac{10,643 \cdot L_{\text{equiv}}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot \left[ \frac{S_{\text{Filtro}} \cdot T}{86400} \right]^{1,85} \quad (12)$$

$$h_3 = \frac{10,643 \cdot 3,5}{120^{1,85} \cdot 0,1^{4,87}} \cdot \left[ \frac{1,38 \cdot T}{86400} \right]^{1,85} = 5,26 \cdot 10^{-7} \cdot T^{1,85}$$

Em que:

$h_3$ : Perda de Carga na Saída dos filtros (m)

$C$ : Coeficiente de Perda de Carga - Hazen-Williams (adimensional)

$D$ : Diâmetro da Canalização de Saída dos filtros (m),  $D_{\text{saída}} = 0,1 \text{ m}$

$L_{\text{equiv}}$ : Comprimento Equivalente de peças especiais (m),  $L_{\text{equiv}}$  dos colectores é de 3,5 m

- **No Meio Filtrante Limpo e Camada Suporte**

$$\text{Equação de Darcy} \quad \frac{h}{L} = k \cdot v \quad (13)$$

Em que:

$v$ : Velocidade de aproximação ou Taxa de filtração (m/s)

$h$ : Perda de Carga (m)

$L$ : Espessura do meio filtrante (m)

$k$ : Coeficiente de resistividade (s/m),  $k = \frac{1}{\text{Coeficiente de permeabilidade}} = 250 \frac{\text{s}}{\text{m}}$

Tabela10: Características do Meio Filtrante e Equações de Perda de Carga. [2]

Parâmetro	Areia convencional	Areia uniforme
Tamanho do menor grão (mm)	0,42	0,83
Tamanho do maior grão (mm)	1,41	1,25
Tamanho efectivo (mm)	0,56	0,88
Coefficiente de desuniformidade	1,50	1,16
Coefficiente de esfericidade ( $\psi$ )	0,80	0,85
Porosidade ( $\epsilon_0$ )	0,40	0,435
Espessura de camada (m)	0,35	0,35
Equação de Perda de Carga	$h_4 = 1,989 \cdot 10^{-3} \cdot T$	$h_4 = 0,97 \cdot 10^{-3} \cdot T$

### Equação Geral da Perda de Carga durante a Filtração

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad (14)$$

$$H = 1,81 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 8,63 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 5,26 \cdot 10^{-7} \cdot T^{1,85} + 1,989 \cdot 10^{-3} \cdot T$$

$$H = 0,004782 \text{ m}$$

### 11. Velocidade de filtração

#### Lei de Darcy

$$i = k \cdot i \quad (15)$$

$$U = 0,004 \cdot 0,01195 = 0,00048 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Em que:

$$i = \frac{H}{L} = -\text{grad}\varphi \text{ é a perda de carga unitária}$$

$$i = \frac{0,00478}{0,4} = 0,01195$$

$k$  é uma característica da permeabilidade do meio e tem as dimensões de uma velocidade. m/s

### 1.11 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTROS DE AREIA

Os parâmetros mais importantes na avaliação do desempenho dos filtros de areia em são: **eficiência de remoção, percentagem de entupimento dos emissores e perda de carga causada pelo equipamento.**

Existem duas maneiras de se estudar a eficiência de filtros:

- Pela medida do aumento da perda de carga ao longo do tempo, devido à retenção de impurezas no meio filtrante;

- Medindo-se a concentração de impurezas nas amostras de água colectadas antes e depois do filtro.

Tabela 11: Escolha do filtro de areia. [3]

Modelo	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Vazão (l/h)	Carga areia (kg)	Pressão de trabalho (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tubulação diâmetro
25A	250	650	570	25	3,5	1/4 <sup>''</sup>
30A	300	1150	1150	75	3,5	1/4 <sup>''</sup>
40A	400	1160	3300	150	3,5	1 <sup>''</sup>
50A	500	1200	5000	250	3,5	1 1/2 <sup>''</sup>
60A	600	1260	6500	350	3,5	1 1/2 <sup>''</sup>
75A	750	1290	13000	550	3,5	1 1/2 <sup>''</sup>
90A	900	1450	20000	750	3,5	2 <sup>''</sup>
100A	1000	1500	30000	1050	3,5	2 <sup>''</sup>

## CAPÍTULO II

### UNIDADE DE PURIFICAÇÃO POR MEIO DE RAIOS UV EMITIDOS PELO SOL

#### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 12: Quadro de valores obtidos na Unidade de Filtração. [2]

Dimensões do filtro	$\delta = 1,5 \text{ mm}$ $H = 0,75 \text{ m}$ $D = 0,5 \text{ m}$
Volume do filtro	0,148 m <sup>3</sup>
Volume de areia	0,079 m <sup>3</sup>
Área da boca e da saída	0,078 m <sup>2</sup>
Vazão de água crua	0,138 m <sup>3</sup> /hora
Taxa de Filtração	100 L/m <sup>2</sup> /hora
Volume de areia	0,079 m <sup>3</sup>
Velocidade de Filtração	0,5 mm/s
Tempo de contacto da água/ areia	34 min.
Perda de Carga durante a Filtração	0,004782 m

A unidade de Purificação UV é constituída por um recipiente cilíndrico, translúcido, de quartzo com base cónica, terminando por um tubo de  $\frac{3}{4}$  controlado por uma válvula de retenção que comunica a uma torneira a saída. Ao redor do reservatório, estão dispostos colectores solares que transmitem raios solares (incluindo os raios ultravioleta) ao recipiente, **desinfectando a água filtrada** na Unidade de filtração.

### Radiação solar

**Radiação solar** é a designação dada à energia radiante emitida pelo Sol, em particular aquela que é transmitida sob a forma de radiação electromagnética. Cerca de metade desta energia é emitida como luz visível na parte de frequência mais alta do espectro electromagnético e o restante na do infravermelho próximo e como **radiação ultravioleta**. A radiação solar fornece anualmente para a atmosfera terrestre  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia.

O **Sol** (do latim sol, solis) é a estrela central do Sistema solar. Todos os outros corpos do Sistema Solar, como planetas, planetas anões, asteróides, cometas e poeira, bem como todos os satélites associados a estes corpos, giram ao seu redor. Responsável por 99,86% da massa do Sistema Solar, o Sol possui uma massa 332 900 vezes maior que a da Terra.

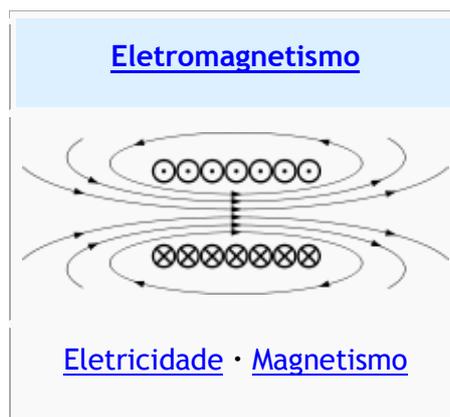


Figura 9: radiação electromagnética. (Fonte: Solenoid.svg)

## O Equilíbrio Energético do Planeta

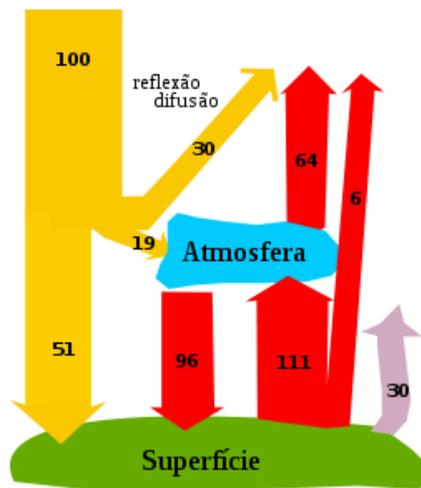


Figura 10: O Equilíbrio Energético do Planeta. (Fonte: Equilibrio energetico.svg)

Em média, da radiação solar incidente (sobre o sistema Terra/atmosfera):

19 % é perdida por absorção pelas moléculas de oxigénio e ozónio da radiação ultravioleta (de alta energia) na estratosfera (onde a temperatura cresce com a altitude);

6% é perdida por difusão da luz solar de menor comprimento de onda - azuis e violetas - (o que faz com que o céu seja azul);

24% é perdida por reflexão - 20% nas nuvens e 4% na superfície.

51% é absorvida pela superfície. (Note que os valores apresentados são valores médios. Por exemplo, nos pólos a reflexão da radiação solar incidente é geralmente maior do que 24% e nos oceanos menor do que 24%.)

### 2.1 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (UV)

**Radiação ultravioleta (UV)** é a radiação electromagnética ou os raios ultravioleta comum comprimento de onda menor que a da luz visível e maior que a dos raios X, de 380 nm a 1 nm. O nome significa mais alta que (além do) violeta (do latim ultra), pelo facto de o violeta ser a cor visível com comprimento de onda mais curto e maior frequência.

Ciclos por segundo: 750 THz a 300 PHz.

Comprimento de onda: 400 nm a 1 nm.

## 2.2 TIPOS DE RADIAÇÃO UV

Tabela 13: Principais tipos de radiação UV com os respectivos comprimentos de onda.

(Fonte: Irradiância solar ISO-21348:2007)

Nome	Abreviação	Faixa de comprimento de Onda (nm)
Ultravioleta	UV	100 - 400
Ultravioleta de vácuo	VUV	10 - 200
Ultravioleta extremo	EUV	10 - 121
Ultravioleta longínquo	FUV	122 - 200
Ultravioleta C	UVC	100 - 280
Ultravioleta médio	MUV	200 - 300
Ultravioleta B	UVB	280 - 315
Ultravioleta próximo	NUV	300 - 400
Ultravioleta A	UVA	315 - 400



Figura 11: Faixas de Radiação Ultravioleta proveniente do sol. (Fonte: Irradiância solar ISO-21348:2007)

## 2.3 PURIFICAÇÃO DA ÁGUA POR RADIAÇÃO UV

UV é um agente esterilizante de superfícies devido a baixa penetrabilidade. Sobre os microrganismos, esta radiação leva a formação de dímeros de timina no DNA, os quais interferem com o processo de transcrição e cópia deste levando a morte. Por definição radiação uv é toda aquela que se encontra entre 15 e 400 nm de comprimento de onda, porém a que apresenta acção como agente esterilizante está entre a faixa de 220 e 300 nm; radiação UV-C, que causa danos permanentes em células vivas destruindo o material genético DNA. Esse mecanismo é o responsável pela esterilização da água, acabando com as algas e microrganismos, expostos à radiação solar.

Assim, quando uma célula é submetida a UV germicida, ocorre o seguinte processo:

A radiação UV penetra na parede celular.

A energia dos fótons da radiação é absorvida pelas proteínas e pelo DNA da célula.

A luz UV danifica a estrutura proteica.

O DNA sofre uma alteração química. Pode dizer-se que quando o DNA sofre divisão celular não pode reproduzir-se, produzindo a sua morte.

Os organismos, incapazes de metabolizar e reproduzir-se não podem causar doenças.

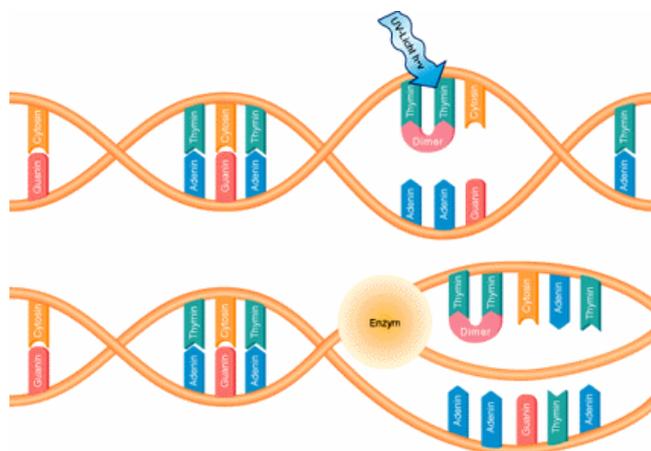


Figura 12: Acção da radiação UV no DNA dos microrganismos. (Fonte: AquaAmbiente - 2004).

## 2.4 QUALIDADE DA ÁGUA PURIFICADA POR RADIAÇÃO UV

No processo de esterilização ocorre a total eliminação de patógenos e é definida como uma redução de contaminantes igual ou superior a 8 logs ou 99,999999 %. Na desinfecção tem se uma redução na concentração de patógenos para níveis não infecciosos:

Tabela 14: Principais parâmetros da água purificada por radiação UV.

Parâmetro	Faixa
Grau de turbidez	< 5 NTU (Unidade de medição da turbidez)
Total de sólidos em suspensão	< 10 ppm (Unidade de concentração muito baixa)
Ácido sulfídrico	< 0,05 ppm
Dureza total	< 120 ppm
Ferro	< 0,3 ppm
Manganês	< 0,05 ppm
pH	6,5 a 9,5
Limpeza do recipiente	periódica
Vida útil do colector (máxima eficiência)	8000 horas
Vazão máxima	Dentro do limite

## 2.5 VANTAGENS E INCONVENIENTES DA PURIFICAÇÃO DE ÁGUA POR RADIAÇÃO UV

Tabela 15: Vantagens e Inconvenientes da Purificação de água por UV. (Fonte: AquaAmbiente - 2004)

Vantagens	Inconvenientes
<p>Efectiva: todos os microrganismos são susceptíveis à desinfecção por UV, em relação a vírus o UV é mais efectivo que o Cloro; os microrganismos são incapazes de desenvolver um mecanismo de imunidade; a diferença dos desinfectantes halogenados; trata-se todo caudal de circulação.</p> <p>Económica: apresenta o menor custo de capital entre todos os sistemas de desinfecção (Osmose reversa, Filtração multimédia, Troca Iónica, ozónio, cloro, Descalcificador), custos operacionais baixos; não requer uma manutenção diária; só consome raios solares; baixo investimento inicial.</p> <p>Natural: não agride o meio ambiente, não tem problemas com manuseio ou estocagem de produtos químicos; não há adição de produtos químicos na água, não havendo o risco de formação de trihalometanos; Não altera sabor ou odor da água.</p> <p>Simple: instalação e operação descomplicadas; operação automática sem atenção especial ou medições constantes; Compatível com qualquer outro processo para tratamento de água (Osmose reversa, Filtração multimédia, Troca Iónica, Descalcificador).</p> <p>Rápida: não há necessidade de tanques de contacto ou outros dispositivos de elevado tempo de residência; processo de tratamento imediato, não necessitando tanques de estocagem ou longos períodos de retenção.</p> <p>Segura: não há risco de superdosagem, não há transporte, armazenagem ou manuseio de produtos químicos perigosos; UV não adiciona nada à água nem altera quaisquer substâncias contidas na água.</p>	<p>Precisa de um fornecimento constante de energia solar.</p> <p>É necessária a pré-filtragem da água antes de usar esta técnica de purificação; Há uma condição que precisa ser cumprida quando se usa a radiação UV - a água deve ser suficientemente clara para que a luz possa penetrar.</p> <p>Diminui drasticamente a sua eficácia ao aumentar a turvação da água.</p> <p>Não remove os produtos químicos e sólidos contidos na água; sólidos suspensos pode obstruir a luz UV e tornar a unidade ineficiente.</p> <p>Interage com os produtos halogenados: destrói o cloro.</p> <p>Precisa dosagem de floculante.</p>

## 2.6 COLECTORES SOLARES

Os **colectores solares**, vulgarmente conhecidos por painéis solares, não devem ser confundidos com painéis fotovoltaicos. Os colectores solares são utilizados normalmente para aquecer a água da rede para as tarefas do dia-a-dia, como tomar banho, cozinhar.

Um colector solar tem uma cobertura transparente. Normalmente esta área é feita de pyrex (vidro borossilicato) ou vidro isolado, com sistema de caixa de ar.

A reflexão e transferência de energia térmica para o fluido são feitas através de uma placa reflectora, constituída por metais como alumínio ou cobre. Em colectores de alto rendimento é utilizado dióxido de cobre (II), silício, dióxido de silício, aço banhado a ouro.

## 2.7 VÁLVULA DE RETENÇÃO

Impede que a água contida no recipiente escape pelo tubo. Mantém-se fechada durante todo o tempo de exposição, em que a água está sujeita a raios UV. Finda a purificação, pode abrir.

## 2.8 TORNEIRA

Regula a saída de água potável.

## 2.9 CÁLCULOS PRINCIPAIS DO PURIFICADOR DE RAIOS UV EMITIDOS PELO SOL

## 2.10 PARÂMETROS GEOMÉTRICOS E HIDRÁULICOS

Em condições normais de temperatura e pressão CNT (intensidade máxima é de  $1000 \frac{W}{m^2}$  nas condições de pico de energia solar, a temperatura da célula  $25^{\circ}C$ )

Tabela 16: Colector solar. [1]

Características da célula		Características físicas	
Número de células	33	Comprimento	800
Tipo de células	monocristalinas	Largura	500
Dimensões da célula	103 x 103	Peso	5,2
Características eléctricas			
Potência de pico (Pmpp)		50	
Tensão de pico (Vmpp)		15,9	
Tensão em circuito aberto (Voc)		19,8	
Curto-circuito (Isc)		3,35	
Tensão máxima (V <sub>sys</sub> . max)		820	
Tensão nominal		12	

**1. Área de um colector**

$$A = C \cdot L \quad \text{em } m^2 \quad (16)$$

Onde C é o comprimento em m e L a largura em m.

$$A = 0,8 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ m}^2$$

**2. Área total de captura dos raios solares**

$$A_{\text{Total}} = n \cdot A \quad \text{em } m^2 \quad (17)$$

Onde n é o número de colectores solares.  $n = 3$

$$A_{\text{Total}} = 3 \cdot 0,4 = 1,2 \text{ m}^2$$

**3. Ângulos na insolação****Ângulo de declinação solar  $\delta$** 

É o ângulo entre a linha que liga o centro do sol ao centro da terra e o plano do equador.

$$\delta = -23,45^\circ \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot (N + 10)\right) \quad \text{se o cos for expresso em graus.}$$

$$\delta = -23,45^\circ \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot (N + 10)\right) \quad \text{se o cos for expresso em radianos.} \quad (18)$$

Onde N é o dia do ano, isto é o número de dias decorridos desde 1 de Janeiro.

$$\delta = -23,45^\circ \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot (1 + 10)\right) = -24^\circ$$

Como a excentricidade da órbita da terra é muito pequena, ela pode ser aproximada, para efeitos de cálculo, a um círculo. Os erros causados por esta aproximação podem ser corrigidos utilizando os valores diários da equação do tempo, com um período de 6 meses de um ano;

$$E = 9,87 \cdot \text{sen}(2 \cdot B) - 7,53 \cdot \text{cos}(B) - 1,5 \cdot \text{sen}(B) \quad (19)$$

Onde E é expresso em minutos, e

$$B = 360^\circ \cdot \frac{(N - 81)}{364} \quad \text{se o sen e o cós forem expressos em graus}$$

$$B = 2\pi \cdot \frac{(N - 81)}{364} \quad \text{se o sen e o cós forem expressos em radianos}$$

$$B = 360^\circ \cdot \frac{(1 - 81)}{364} = -80^\circ, \quad \text{assim:}$$

$$E = 9,87 \cdot \text{sen}(2 \cdot (|-80^\circ|)) - 7,53 \cdot \cos(|-80^\circ|) - 1,5 \cdot \text{sen}(|-80^\circ|) = 3 \text{ min} \quad (20)$$

A expressão apenas fornece uma aproximação do valor real, mas produz erros inferiores a 1 minuto, pelo que pode ser utilizada para a maioria dos fins comuns.

### Ângulo Zenital $Z_0$

É o ângulo formado entre as linhas normal do local a que liga o centro do sol ou do satélite ao local.

$$\cos Z_0 = \text{sen}\phi \text{sen}\delta + \cos\phi \cos\delta \cosh \quad (21)$$

Onde  $\phi$  é a latitude do local. De Maputo, toma-se  $\phi = 25^\circ 58'$ . Sabendo que  $1^\circ = 60 \text{ min}$ .

$\delta$  é a declinação solar  $\delta = -24^\circ$

$h$  é o ângulo horário correspondente ao instante em questão, determinado em função da hora solar ( $h > 0$  para o período da manhã e  $h < 0$  para o período da tarde). Toma-se  $h = 97,6^\circ$

Ângulo horário ( $h$ ) de um objecto celeste é a diferença entre o tempo sideral local (TSL) e a ascensão recta ( $\alpha$ ) do objecto.

$$h = \text{TSL} - \alpha_{\text{objecto celeste}}, \text{ expresso em horas (1 hora = } 15^\circ) \quad (22)$$

$$\cos Z_0 = \text{sen}26 \cdot \text{sen}(-24) + \cos26 \cdot \cos(-24) \cos97,6 = -0,286^\circ \quad \text{Então}$$

$$Z_0 = \arccos(-0,286) = 106,6^\circ$$

### Ângulo Azimutal $b$

Ângulo compreendido entre a posição do vector posição do sol sobre o plano do horizonte e o vector norte verdadeiro

$$\cos b = \frac{(\text{sen}\delta - \cos Z_0 \cdot \text{sen}\phi)}{\cos\phi \cdot \text{sen}Z_0} \quad (23)$$

$$\cos b = \frac{\text{sen}(-24) \cdot \cos26}{\cos26 \cdot \text{sen}106,6} \quad \cos b = \frac{\text{sen}97,6^\circ \cdot \cos(-24^\circ)}{\text{sen}106,6^\circ} = 0,94490151$$

$$\text{Então } b = \arccos(0,94490151) = 19,948^\circ$$

Tabela17: Quadro meteorológico de Maputo, dia 18 de Novembro de 2010.

Novembro 18, 2010	Nasce:	Meio-dia solar:	Por:
Hora actual	04:51 CAT	11:34 CAT	18:18 CAT
Crepusculo civil	04:26 CAT		18:43 CAT
Crepusculo nautico	03:57 CAT		19:13 CAT
Crepusculo astronomico	03:26 CAT		19:44 CAT
Altitude	-0.8°	83.3°	-0.8°
Azimute	111.9°	360.0°	248.0°
Angulo horario do Sol	100.7°	100.8°	-100.8°
Anomalia media do Sol	313.93°	314.21°	314.48°
Obliquidade	23.44°	23.44°	23.44°
Ascensao perpendicular do Sol	-126.68°	-126.39°	-126.10°
Declinação solar	-19.17°	-19.24°	-19.31°
Lua	15:28 CAT		02:21 CAT
Comprimento da luz visivel:	14h 16m		
Duração do dia	13h 26m	Tomorrow will be 1m 4s longer.	

Ângulo da hora do nascer do sol  $\omega_s$

$$\omega_s = \arctg(-\operatorname{tg}\phi \cdot \operatorname{tg}\delta) \quad (24)$$

$$\omega_s = \arctg(-\operatorname{tg}26^\circ \cdot \operatorname{tg}(-24^\circ)) = 12,25^\circ$$

Ângulo de incidência solar no colector  $\theta$

$$\theta = Z_o + \lambda \quad (25)$$

O  $\lambda$  é o ângulo de inclinação na montagem. Toma-se  $\lambda = -24^\circ$ , o simétrico da obliquidade do sol.

$Z_o$  ângulo zenital e  $\alpha$  é o ângulo de elevação solar.

$$\theta = 106,6^\circ + (-24^\circ) = 82,6^\circ$$

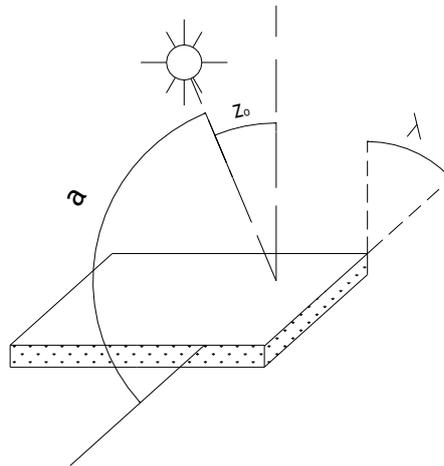


Figura 13: Ângulo de incidência solar no coletor. [1]

#### 4. Irradiação solar I

Emissão de raios luminosos do sol para a terra

$$I = I_b \cdot \cos Z_0 + I_d + I_r \quad (26)$$

$I_b$  intensidade da irradiação directa,  $I_b = 51\% \cdot 1000 \frac{W}{m^2}$

$I_d$  intensidade da irradiação difusa,  $I_d = 30\% \cdot 1000 \frac{W}{m^2}$

$I_r$  intensidade da irradiação reflectida na superfície do próprio coletor,

$$I_r = 70\% \cdot (51\% \cdot 1000) \frac{W}{m^2} \text{ Então } I = 510 \cdot \cos 106,6^\circ + 300 + 357 = 511,3 \frac{W}{m^2}$$

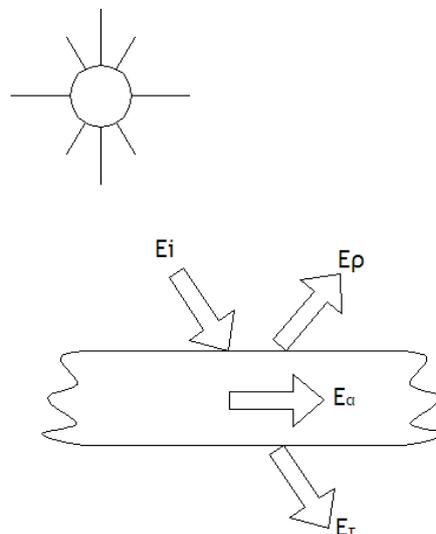


Figura 14: Radiação solar incidente (Ei), reflectida (Ep), transmitida (Et) e absorvida (Ea). [1]

Intensidade de radiação solar em uma superfície perpendicular aos raios solares, considerando a distância média da Terra (constante solar): 1.397 watt/m<sup>2</sup>

Intensidade de radiação solar na superfície da terra (chamada de insolação):  
1.000 Watt/m<sup>2</sup>. Este valor varia com a latitude e com as condições do tempo

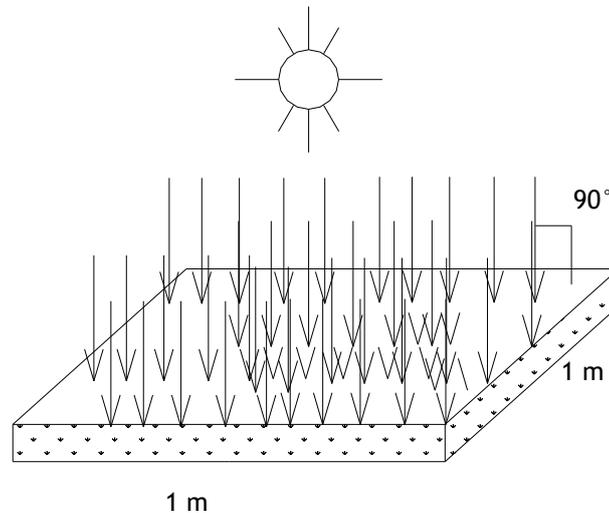


Figura 15: Incidência solar na superfície terrestre. [1]

### 5. Dose de radiação UV

$$D = I \cdot T \quad (27)$$

Onde: D é a dose de radiação UV em  $\frac{\text{mW} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$ . A dose para os microrganismos mais resistentes,

toma-se  $187640000 \frac{\text{mW} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$

I é a intensidade de radiação bactericida em  $\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$ . Toma-se a intensidade da irradiação

reflectida na superfície do próprio colector  $357 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$

$$T \text{ é o tempo de exposição em s, então } T = \frac{D}{I} = \frac{187640000}{357} = 525602 \text{ s}$$

## CAPÍTULO III

## 3. RESULTADOS OBTIDOS E VISTA GERAL DO POTABILIZADOR DE ÁGUA

O quadro seguinte mostra o resultado dos principais cálculos realizados nas duas unidades: a de filtração e a de purificação que em conjunto, constituem os valores dos parâmetros do potabilizador de água.

Tabela 18: Quadro resumo do sistema de potabilização da água.

Dimensões do filtro	$\delta = 1,5 \text{ mm}$ H = 750 mm D = 500 mm
Volume do filtro	0,148 m <sup>3</sup>
Volume de areia	0,079 m <sup>3</sup>
Dimensões do purificador	$\delta = 2 \text{ mm}$ H = 550 mm D = 450 mm
Volume do purificador	0,075 m <sup>3</sup>
Vazão de água crua no filtro	0,138 m <sup>3</sup> /hora
Taxa de Filtração	100 L/m <sup>2</sup> /hora
Velocidade de Filtração	0,5 mm/s
Tempo total de tratamento	180 min.
Área da boca do purificador	0,078 m <sup>2</sup>
Diâmetro do tubo à saída do purificador	3/4"
Dimensões do colector	$\delta = 3 \text{ mm}$ C = 800 mm L = 500 mm
Poder emissivo do colector	357 w/m <sup>2</sup>

## Legenda da Figura 16

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1 - Tampa do filtro de areia          | 6 - Torneira                               |
| 2 - Filtro de areia                   | 7 - Colector de raios UV                   |
| 3 - Purificador de raios UV           | 8 - Parafuso de fixação no fundamento      |
| 4 - Mecanismo de suporte da estrutura | 9 - Mecanismo de suporte do colector solar |
| 5 - Válvula de retenção               | 10 - Mecanismo de regulação do colector    |

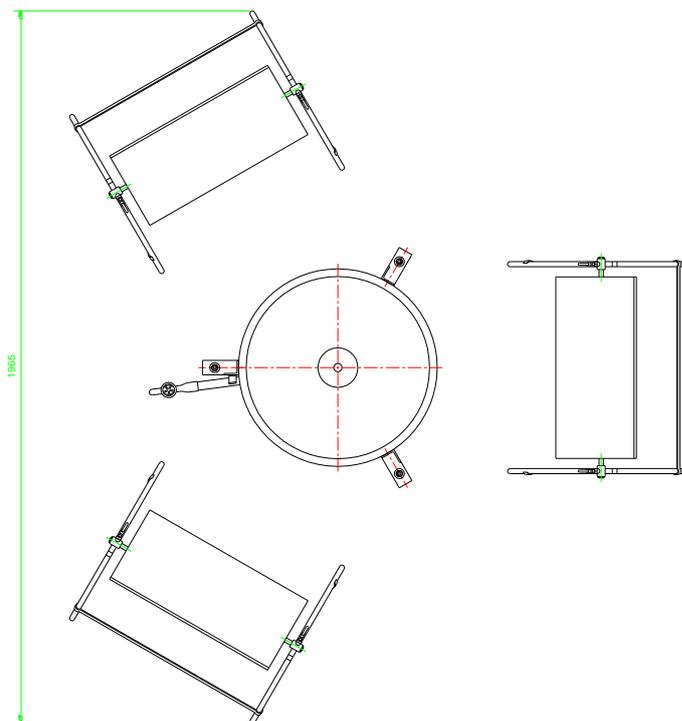
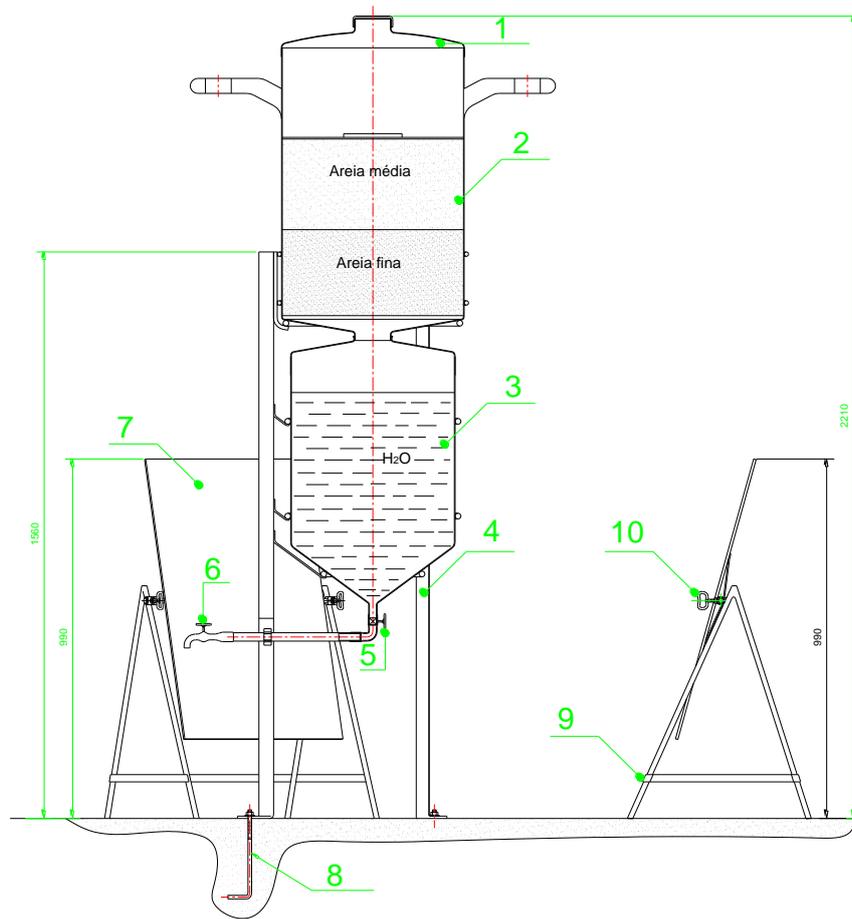


Figura 16: Vista geral do potabilizador de água.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O culminar do conteúdo das disciplinas leccionadas no curso, aliado as ferramentas básicas de engenharia foi a elaboração do projecto de sistema de potabilização da água. Projecto aceitável sob ponto de vista didáctico e de implementação.

O sistema está constituído de duas Unidades: a de filtração, que retêm inclusões e a de raios UV, que elimina os microrganismos, obtendo água potável para o consumo diário.

O sistema de potabilização da água é natural, seguro, económico e extremamente efectivo. Convêm aplica-lo.

Recomenda-se que se troquem os colectores solares após 8000 horas de operação e que se faça a lavagem do filtro e do purificador com frequência.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Nhumai, G.C.S., (2010), Apontamentos da disciplina de **Energias Renováveis**, Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica, Maputo - Moçambique.

[2] Testezlaf, R., (2010), **Avaliação dos Componentes Hidráulicos e do Material Filtrante em Filtros de Areia utilizados na irrigação**, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas - Brasil.

[3] Jaboticabal P., (2008) **Pós Tratamento de Efluente anaeróbio por Filtros de areia - Estudo Hidrodinâmico**, VI Simpósio, Italo Brasileiro.