

.. Vazão por Entalhe ..... 0,05 l/s  
.. Carga Hidráulica sobre o Vertedor

$$Q = 1,40 \times H^{5/2}$$

Onde

... Q = vazão ..... 0,00005 m<sup>3</sup>/s  
... H = carga sobre o vertedor ..... 0,022 m

∴ Produção de Lodo

$$P_{lodo} = Y \times L_o$$

Onde:

$P_{lodo}$  = produção de sólidos no sistema ( kgSSt / dia )  
Y = coeficiente de sólidos no sistema ( kgSST / kgDQO<sub>apl</sub> )  
 $L_o$  = carga de DQO afluente ao sistema ( kgDQO / dia )

$$P_{lodo} = 0,10 \times 361$$

$$P_{lodo} = 36,06 \text{ kgSST / dia}$$

- Produção Volumétrica

$$V_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{\gamma \times C}$$

Onde:

$V_{lodo}$  = produção volumétrica de lodo ( m<sup>3</sup> / dia )  
 $P_{lodo}$  = produção de sólidos no sistema ( kgSSt / dia )  
γ = densidade do lodo ( usualmente da ordem de 1020 a 1040 kg/m<sup>3</sup> )  
C = concentração do lodo ( % )

$$V_{lodo} = \frac{36,06}{1020,00 \times 0,04}$$

$$V_{lodo} = 0,88 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

*FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR*

---



**COPASA - COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS**  
**PROJETO BÁSICO DO SISTEMA DE ESGOTOS SANITÁRIOS**  
**ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS - COMPLEXO PENITENCIÁRIO**  
**FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR**

**CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES**

ANO	VAZÃO DOMÉSTICA (l/s)			VAZÃO INFIL. (l/s)	VAZÃO INDUST. (l/s)	VAZÃO TOTAL (l/s) (com infiltração)			POPULAÇÃO ATENDIDA
	Mínima	Média	Máxima			Mínima	Média	Máxima	
Início 2.010	19,53	19,53	19,53	0,00	0,00	19,53	19,53	19,53	4.714
1ª Etapa 2.019	19,53	19,53	19,53	0,00	0,00	19,53	19,53	19,53	4.714
Final 2.029	19,53	19,53	19,53	0,00	0,00	19,53	19,53	19,53	4.714

Coefficiente do dia de maior consumo ( $K_1$ ) ..... 1,00  
 Coeficiente da hora de maior consumo ( $K_2$ ) ..... 1,00  
 Coeficiente da hora de menor consumo ( $K_3$ ) ..... 1,00

∴ Vazões

	Com Infiltração				Sem Infiltração			
	Q <sub>máx hor</sub>	Q <sub>máx dia</sub>	Q <sub>méd</sub>		Q <sub>máx hor</sub>	Q <sub>máx dia</sub>	Q <sub>méd</sub>	
	19,53 l/s	19,53 l/s	19,53 l/s	70,32 m³/h	19,53 l/s	19,53 l/s	19,53 l/s	70,32 m³/h

∴ Resumo das principais características dos diferentes tipos de filtros biológicos

Condições Operacionais	Baixa Taxa	Taxa Intermediária	Alta Taxa	Taxa Super Alta	Grosseiro
Meio Suporte	Pedra	Pedra	Pedra	Pedra	Pedra
Taxa Aplicação Superficial (m³/m².dia)	1,0 a 4,0	3,5 a 10,0	10 a 40	12 a 70	45 a 185
Carga orgânica volumétrica (kgDBO/m².dia)	0,1 a 0,4	0,2 a 0,5	0,5 a 1,0	0,5 a 1,6	até 8
Recirculação	Mínima	Eventual	*	Contínua	Contínua
Presença de Moscas	Alta	Variável	Variável	Baixa	Baixa
Arraste de biofilme	Intermitente	Variável	Contínuo	Contínuo	Contínuo
Profundidade (m)	1,8 a 2,5	1,8 a 2,5	0,9 a 3,0	3,0 a 12,0	0,9 a 6,0
Remoção de DBO (%)	80 a 85	50 a 70	65 a 80	65 a 85	40 a 65
Nitrificação	Intensa	Parcial	Parcial	Limitada	Ausente

\* Para efluente de reatores anaeróbios, a recirculação é normalmente desnecessária

O filtro a ser utilizado no presente projeto é o de "Alta Taxa".

∴ Dados

Número de filtros a implantar em 1ª Etapa .....	4
Número de filtros a implantar em 2ª Etapa .....	0
Número final de filtros .....	4
População Atendida em 1ª Etapa .....	4.714
População Atendida em 2ª Etapa .....	4.714
População por Módulo em 1ª Etapa .....	1.179
População por Módulo em 2ª Etapa .....	1.179

As taxas de aplicação recomendadas para o projeto de filtros biológicos de alta taxa aplicados ao pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios são:

Condições	Faixa de valores, em função da vazão		
	Para Q <sub>média</sub>	Para Q <sub>máx dia</sub>	Para Q <sub>máx hor</sub>
Meio Suporte	Pedra	Pedra	Pedra
Profundidade do meio suporte (m)	2,0 a 3,0	2,0 a 3,0	2,0 a 3,0
Taxa Aplicação Superficial (m³/m² . Dia)	15 a 18	18 a 22	25 a 30
Carga orgânica volumétrica (kgDBO/m³ . dia)	0,5 a 1,0	0,5 a 1,0	0,5 a 1,0

Carga Orgânica Volumétrica Adotada (C <sub>v</sub> ) .....	0,85	kgDBO/m³
Profundidade do meio suporte .....	2,00	m
Concentração esperada do lodo de descarte .....	2,0%	
Densidade do lodo .....	1.020	kg / m³

**DIMENSIONAMENTO DO FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR**

∴ Carga Orgânica Volumétrica

A carga orgânica volumétrica refere-se à quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao Filtro Biológico Percolador (FBP), por unidade de volume do meio suporte.

$$C_v = \frac{Q_{méd} \times S_a}{V} \quad \text{onde:}$$

$C_v$  = carga orgânica volumétrica (kgDBO/m³ . dia)  
 $Q_{méd}$  = vazão média afluente ao FBP (m³/d)  
 $S_a$  = concentração de DBO do esgoto afluente ao FBP (kg DBO/m³)  
 $V$  = volume ocupado pelo meio filtrante (m³)

$$\Rightarrow V = \frac{Q_{méd} \times S_a}{C_v}$$

	V (m³)		
	2.010	2.019	2.029
Total	74,87	74,87	74,87
Unit	18,72	18,72	18,72

$$\Rightarrow V = \frac{Q_{méd} \times S_a}{C_v}$$

	V (m³)		
	2.010	2.019	2.029
Total	112,30	112,30	112,30
Unit	28,08	28,08	28,08

∴ Verificação dos Parâmetros Adotados

- ∴ Área Total Corrigida (  $A_t$  ) ..... 89,88 m²
- ∴ Volume Total Corrigido (  $V_t$  ) ..... 179,76 m³
- ∴ Carga Orgânica Volumétrica (  $C_v$  )

$C_v$		
2.010	2.019	2.029
0,53	0,53	0,53

∴ Taxa de Aplicação Superficial

A taxa de aplicação hidráulica superficial refere-se à quantidade de esgotos aplicados diariamente ao Filtro Biológico Percolador (FBP), por unidade de área do meio suporte.

$$q_s = \frac{Q}{A} \quad \text{onde:} \quad \begin{aligned} q_s &= \text{taxa de aplicação hidráulica superficial (m}^3\text{/m}^2\text{.dia)} \\ Q &= \text{vazão média afluyente (m}^3\text{/d)} \\ A &= \text{área de superfície livre do meio suporte (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Vazão	$q_s$ (m³/m² . d)		
	2.010	2.019	2.029
$Q_{máx \text{ hor}}$	28,17	28,17	28,17
$Q_{máx \text{ dia}}$	28,17	28,17	28,17
$Q_{méd}$	28,17	28,17	28,17

*DECANTADOR SECUNDÁRIO*

---



**COPASA - COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS**  
**PROJETO BÁSICO DO SISTEMA DE ESGOTOS SANITÁRIOS**  
**ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS - COMPLEXO PENITENCIÁRIO**  
**DECANTADOR SECUNDÁRIO**

**CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES**

ANO	VAZÃO DOMÉSTICA (l/s)			VAZÃO INFIL. (l/s)	VAZÃO INDUST. (l/s)	VAZÃO TOTAL (l/s) (com infiltração)			POPULAÇÃO ATENDIDA
	Mínima	Média	Máxima			Mínima	Média	Máxima	
Início 2.010	19,53	19,53	19,53	0,00	0,00	19,53	19,53	19,53	4.714
1ª Etapa 2.019	19,53	19,53	19,53	0,00	0,00	19,53	19,53	19,53	4.714
Final 2.029	19,53	19,53	19,53	0,00	0,00	19,53	19,53	19,53	4.714

Coefficiente do dia de maior consumo ( $K_1$ ) ..... 1,00

Coefficiente da hora de maior consumo ( $K_2$ ) ..... 1,00

Coefficiente da hora de menor consumo ( $K_3$ ) ..... 1,00

∴ Vazões

	Com Infiltração				Sem Infiltração			
	Q <sub>máx hor</sub>	Q <sub>máx dia</sub>	Q <sub>méd</sub>		Q <sub>máx hor</sub>	Q <sub>máx dia</sub>	Q <sub>méd</sub>	
	19,53 l/s	19,53 l/s	19,53 l/s	70,32 m³/h	19,53 l/s	19,53 l/s	19,53 l/s	70,32 m³/h

∴ Dados

Número de Decantadores a implantar em 1ª Etapa ..... 4

Número de Decantadores a implantar em 2ª Etapa ..... 0

Número final de decantadores ..... 4

Concentração esperada do lodo de descarte ..... 2,0%

Densidade do lodo ..... 1.020 kg / m<sup>3</sup>

Coefficiente de produção de sólidos ( Y ) adotado ..... 0,80 kg SS / kg DQO

∴ Dimensionamento

Os decantadores secundários utilizados a jusante dos filtros biológicos são do tipo laminar de fluxo ascendente.

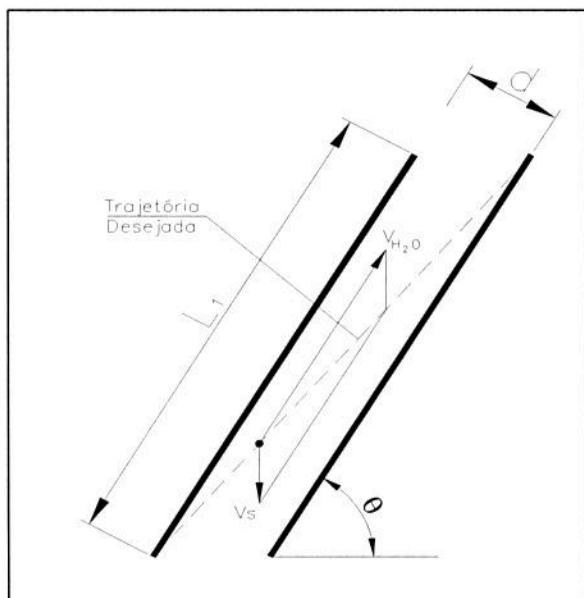
∴ Vazão afluyente aos Decantadores Secundários

Q (m³/d)			
Vazão	2.010	2.019	2.029
Média	1.687,74	1.687,74	1.687,74
Máx. Horária	1.687,74	1.687,74	1.687,74

.. Vazão por Decantador

Q / Decantador (m³/d)			
Vazão	2.010	2.019	2.029
Média	421,93	421,93	421,93
Máx. Horária	421,93	421,93	421,93

.. Dimensionamento das Placas de Decantação



$$\frac{V_s}{V_{H_2O}} = \frac{1}{\text{sen } \theta + \frac{L_1}{d} \cos \theta}$$

Denominado a relação  $L_1/d$  de  $l_1$ , a expressão fica:

$$\frac{V_s}{V_{H_2O}} = \frac{1}{\text{sen } \theta + l_1 \cos \theta}$$

Nesta formula será incorporado um coeficiente  $S_C$  para fazer face às diferenças dos perfis de velocidade prevalentes no interior dos diversos tipos de módulos utilizados.

$$\frac{V_{sc}}{V_{H_2O}} = \frac{S_C}{\text{sen } \theta + l_1 \cos \theta}$$

Os valores de  $S_C$  são os seguintes, segunda a NBR 12216:

- Placas paralelas:  $S_C = 1$
- Dutos de seção circular:  $S_C = 4/3$
- Dutos de seção quadradas:  $S_C = 11/8$

.. Valor de  $S_C$  adotada ( $S_C$ ) ..... 1,000

Nesta formula o comprimento  $L_1$  (ou  $l_1 = L_1/d$ ) é tomado apenas no trecho em que o escoamento é laminar, portanto, será acrescido o comprimento ( $l_2$ ) referente ao trecho onde ocorre a transição do regime turbulento para o laminar, e será determinado através da expressão:

$$l_2 = 0,058 \frac{V_{H_2O} d^2}{\nu} \quad \text{onde:} \quad l_2 = \frac{L_2}{d}$$

$\nu$  = viscosidade cinemática da água

.. Velocidade da Água ( $V_{H_2O}$ )

A NBR 12216 estabelece que nos decantadores a velocidade longitudinal máxima, para fluxo laminar, dever ser de 0,35 cm/s.

- Velocidade adotada ..... 0,35 cm/s ==>> 0,0035 m/s





- Área de cada decantador

$$A = \frac{Q}{V_{H_2O}}$$

Parâmetros	2.010	2.019	2.029
Área (m <sup>2</sup> )	1,40	1,40	1,40
Comprimento (m)	1,36	1,36	1,36
Largura (m)	1,02	1,02	1,02

Dimensões adotadas ..... 5,25 m x 3,50 m  
Área de cada decantador ..... 18,38 m<sup>2</sup>

- Verificação dos Parâmetros Adotados

Velocidade da Água (cm/s)			
p/ Vazão	2.010	2.019	2.029
Média	0,03	0,03	0,03
Máx. Horária	0,03	0,03	0,03

.. Velocidade de Decantação do Floco ( $V_{sc}$ )

A NBR 12216 estabelece que nos decantadores as seguintes velocidade de sedimentação para as respectivas taxas de aplicação:

Capacidade m <sup>3</sup> /dia	Velocidade		Taxa m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x dia
	cm/min	cm/s	
até 1.000	1,74	0,029	25
entre 1.000 e 10.000 ( * )	2,43	0,041	35
entre 1.000 e 10.000 ( ** )	1,74	0,029	25
superior a 10.000	2,80	0,047	40

\* Para estações em que é possível garantir um bom controle operacional

\*\* Para estações as demais situações

- Velocidade adotada ..... 0,029 cm/s ==>> 0,00029 m/s

.. Inclinação das Placas (  $\theta$  ) ..... 60 °

.. Dimensão "d" adotada ..... 50 mm - Padrão perfil *TIGRE*

.. Viscosidade Cinemática da Água (  $\nu$  ) ..... para T = 20,00 ==>> 1,003E-06 m<sup>2</sup>/s

.. Determinação de  $l_1$  e  $l_2$  em função dos parâmetros adotados temos:

Vazão	$l_1$ (m)			$l_2$ (m)		
	2.010	2.019	2.029	2.010	2.019	2.029
$Q_{méd}$	0,10	0,10	0,10	0,04	0,04	0,04
$Q_{máx\ hor}$	0,10	0,10	0,10	0,04	0,04	0,04

- Seção Transversal de Cada Filtro

$$A = \frac{V}{H} \quad \text{Onde:} \quad \begin{array}{l} A = \text{área do filtro (m}^2\text{)} \\ V = \text{volume útil do filtro (m}^3\text{)} \\ H = \text{profundidade útil do filtro} \end{array}$$

.. Para uma seção retangular teremos

Parâmetros	2.010	2.019	2.029
Área (m <sup>2</sup> )	9,36	9,36	9,36
Comprimento (m)	3,53	3,53	3,53
Largura (m)	2,65	2,65	2,65

Dimensões adotadas ..... 5,25 m x 4,28 m  
 Área de cada filtro ..... 22,47 m<sup>2</sup>  
 Volume de cada filtro ..... 44,94 m<sup>3</sup>

∴ Verificação dos Parâmetros Adotados

.. Área Total Corrigida ( A<sub>t</sub> ) ..... 89,88 m<sup>2</sup>  
 .. Volume Total Corrigido ( V<sub>t</sub> ) ..... 179,76 m<sup>3</sup>  
 .. Carga Orgânica Volumétrica ( C<sub>v</sub> )

C <sub>v</sub>		
2.010	2.019	2.029
0,35	0,35	0,35

∴ Taxa de Aplicação Superficial

A taxa de aplicação hidráulica superficial refere-se à quantidade de esgotos aplicados diariamente ao Filtro Biológico Percolador (FBP), por unidade de área do meio suporte.

$$q_s = \frac{Q}{A} \quad \text{onde:} \quad \begin{array}{l} q_s = \text{taxa aplicação hidráulica superficial (m}^3\text{/m}^2 \cdot \text{dia)} \\ Q = \text{vazão média afluyente (m}^3\text{/d)} \\ A = \text{área de superfície livre do meio suporte (m}^2\text{)} \end{array}$$

Vazão	q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . d)		
	2.010	2.019	2.029
Q <sub>máx hor</sub>	18,78	18,78	18,78
Q <sub>máx dia</sub>	18,78	18,78	18,78
Q <sub>méd</sub>	18,78	18,78	18,78

- Eficiência

$$E = \frac{1}{1 + 0,443 \sqrt{\frac{C_v}{F}}}$$

Onde:

E = eficiência de remoção de DBO<sub>5</sub> ( % )

C<sub>v</sub> = carga orgânica volumétrica (kgDBO/m<sup>3</sup> . d)

F = fator de recirculação

Etapa Item	Início 2010	1ª Etapa 2019	Final 2029
E	79,14%	79,14%	79,14%
* E <sub>s</sub>	93,74%	93,74%	93,74%

\* Eficiência do Sistema (UASB + filtro)

- Estimativa da Concentração de DBO no efluente final

$$S = S_o - \frac{E \times S_o}{100}$$

Onde:

S = Concentração de DBO efluente (mg/l)

S<sub>o</sub> = Concentração de DBO afluente (mg/l)

E = eficiência do sistema na remoção de DBO

Item	Início 2010	1ª Etapa 2019	Final 2029
S <sub>o</sub> (mg/l)	37,71	37,71	37,71
E <sub>s</sub>	79,14%	79,14%	79,14%
S (mg/l)	7,87	7,87	7,87

∴ Produção de Lodo

$$P_{lodo} = Y \times DBO_{remov}$$

Onde:

P<sub>lodo</sub> = produção de sólidos no FBP ( kgSST / dia )

Y = coeficiente de sólidos no FBP ( kgSST / kgDBO<sub>removida</sub> )

DBO<sub>remov</sub> = massa de DBO removida no FBP ( kgDBO / dia )

Ressalta-se:

- a) Os sistemas de tratamento biológico com biofilme, trabalhando com alta taxa, sem nitrificação, apresentam uma produção de lodo na faixa de 0,8 a 1,0 kgSST / kgDBO<sub>removida</sub> e relação SSV/SS entre 0,75 e 0,85.

Coeficiente de produção de sólidos ( Y ) adotado ..... 0,80 kg SST / kg DBO<sub>remov</sub>

Relação SSV/SS adotado ..... 0,75

$$b) \text{ DBO}_{\text{remov}} = Q_{\text{méd}} \times (S_{e-\text{reator}} - S_{e-\text{FBP}})$$

Item	Início 2010	1ª Etapa 2019	Final 2029
DBO <sub>remov</sub> (kg DBO <sub>remov</sub> /d)	50,36	50,36	50,36
P <sub>lodo</sub> (kg SST/d)	40,29	40,29	40,29
P <sub>lodo-volátil</sub> (kg SSV/d)	30,22	30,22	30,22

.. Redução do lodo volátil a ser considerada ..... 25,0%

- Produção Volumétrica

$$V_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{\gamma \times C}$$

Onde:

V<sub>lodo</sub> = produção de volumétrica de lodo ( m<sup>3</sup> / dia )

P<sub>lodo</sub> = produção de sólidos no sistema ( kgSST / dia )

γ = densidade do lodo ( usualmente da ordem de 1020 a 1040 kg/m<sup>3</sup> )

C = concentração do lodo ( usualmente na faixa de 1 a 2% )

$$V_{\text{lodo}} = \frac{40,29 - ( 30,22 \times 0,25 )}{1020,00 \times 0,02}$$

$$V_{\text{lodo}} = 1,60 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

#### VERIFICAÇÃO DO FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR COM A VAZÃO RECIRCULADA

∴ Vazão recirculada

- Percentual da Q<sub>média</sub> a ser recirculada ..... 50%

	Vazão Incremental (l/s)		
	2.010	2.019	2.029
Q <sub>rec</sub>	9,77	9,77	9,77

∴ Carga Orgânica Volumétrica

A carga orgânica volumétrica refere-se à quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao Filtro Biológico Percolador (FBP), por unidade de volume do meio suporte.

$$C_V = \frac{Q_{\text{méd}} \times S_a}{V}$$

onde: C<sub>V</sub> = carga orgânica volumétrica (kgDBO/m<sup>3</sup>.dia)

Q<sub>méd</sub> = vazão média afluente ao FBP (m<sup>3</sup>/d)

S<sub>a</sub> = concentração de DBO do esgoto afluente ao FBP (kg DBO/m<sup>3</sup>)

V = volume ocupado pelo meio filtrante (m<sup>3</sup>).

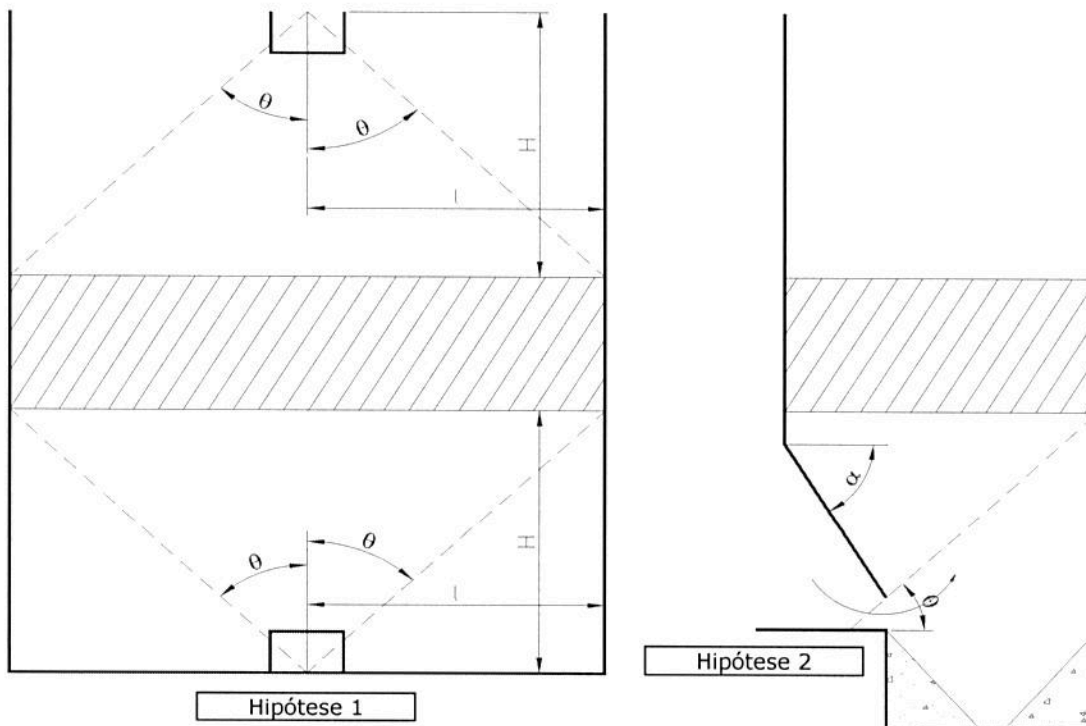
.. Comprimento da Placa de Decantação

Vazão	$l_r$ (m)		
	2.010	2.019	2.029
$Q_{méd}$	0,14	0,14	0,14
$Q_{máx\ hor}$	0,14	0,14	0,14

- Comprimento adotado ..... 0,90 m

∴ Distância entre Elemento Tubulares e as Estruturas de Entrada e Saída

. Calhas Coletoras



.. Quantidade de Calhas ..... 4  
 .. Inclinação admitida (  $\theta$  ) ..... 45 °  
 .. Comprimento da Unidade ..... 5,25 m  
 .. Valor de  $l$  ..... 0,66 m  
 .. Valor de  $H$  ..... 0,66 m

.. Taxa Virtual de Aplicação Superficial

$$T = 480\pi v \left(\frac{l}{H}\right)^{-1} \arctan\left(\frac{l}{H}\right)$$

Onde  $v$  é a velocidade média máxima, e a NBR 122216 recomenda que este valor seja igual a 0,35 cm/s

... Velocidade adotada ..... 0,027 cm/s =>> 0,00027 m/s  
 ... Taxa encontrada ..... 18,03 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia