

ERSUC – RESÍDUOS SÓLIDOS DO CENTRO, SA

ATERRO SANITÁRIO DE CONFINAMENTO TÉCNICO DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE COIMBRA

DIMENSIONAMENTOS

I ESTUDO DE ESTABILIDADE E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO E PROTECÇÃO DA ZONA BASAL E TALUDES DA ZONA DE CONFINAMENTO

I.1 PRESSÃO MÁXIMA EXERCIDA PELA MASSA DE RESÍDUOS DEPOSITADOS

De acordo com a modelação projectada [Fases A, B, C], a pressão máxima exercida pela massa de RSU depositada, corresponde ao efeito promovido por 20,0 m de resíduos e pela camada drenante, a saber:

$$(I) \quad P = (H \times P_{RSU}) + (d_i \times P_i) + (h \times P_f)$$

Sendo:

P_{RSU} – Peso específico dos RSU – **10 KN/m³**;

P_i – Peso específico dos materiais que constituem a camada drenante – **20 KN/m³**;

P_f – Peso específico dos materiais que constituem a cobertura final – **21 KN/m³**;

P_i – Espessura dos diferentes materiais da camada drenante – **0,50 m**;

H – Altura mais desfavorável da massa de resíduos (m);

h – Altura da cobertura final – **2,0 m**.

Deste modo, de acordo com a fórmula (1):

$$P = 252,0 \text{ KN} / \text{m}^2$$

1.2 DIMENSIONAMENTO DA GEOMEMBRANA EM PEAD

A geomembrana em PEAD têm como principal função servir como barreira activa aos fluidos, evitando qualquer fuga de líquidos contaminados para o meio ambiente exterior.

Espessura

$$(2) \quad \sigma_{adm} \times e_{req} \times \cos \beta = P \times b \times [\text{tg} (\delta_s) + \text{tg} (\delta_i)]$$

Sendo:

σ_{adm} – Tensão admitida – **27.450 KN** (Tensão de rotura de uma membrana de PEAD);

e_{req} Espessura requerida à geomembrana (m);

P – Pressão aplicada – **252,0 KN / m²**;

b – Tolerância admitida – **5%**;

δ_s – Ângulo de atrito entre a geomembrana e o material superior – **10°**;

δ_i - Ângulo de atrito entre a geomembrana e o material inferior – **10°**;

β – Ângulo da força mobilizadora da geomembrana com a horizontal – **30°**.

Deste modo, de acordo com a fórmula (2):

$$e_{req} \approx 2,0 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Considerando um factor de segurança de 4 obtemos:

$$e_{\text{req}} \approx 7,0 \times 10^{-4} \text{ m} \approx 0,7 \text{ mm}$$

Verifica-se, com base nos cálculos efectuados que a aplicação de uma geomembrana com uma espessura de 2,0 mm, em conformidade com o Decreto-Lei nº 152/2002 de 23 de Maio, garante com grande margem de segurança a impermeabilização da zonal basal da área de confinamento.

1.3 DIMENSIONAMENTO DO GEOTÊXTIL DE PROTECÇÃO À GEOMEMBRANA

Sobre a geomembrana no fundo do aterro é colocado um geotêxtil com a função de proteger a geomembrana das solicitações mecânicas, sendo necessário verificar a sua resistência ao punçoamento e ao rasgamento.

Sobre o geotêxtil é colocada uma camada de areia de granulometria média a grossa, que não se degrada ao longo do tempo e cuja função é proteger o geotêxtil da acção directa exercida pelo seixo rolado. No entanto, em termos de cálculo assume-se a situação mais desfavorável – geotêxtil em contacto directo com a camada de seixo rolado.

Espessura

A espessura do geotêxtil é calculada com base na fórmula (2), assumindo:

- $\sigma_{\text{adm}} = 3.850 \text{ KN}$ (Tensão de rotura do material)
- e_{req} = Espessura requerida ao geotêxtil (m);
- P – Pressão aplicada – **252,0 KN / m²**;

- b – Tolerância admitida – **5%**;
- δ_s – Ângulo de atrito entre o geotêxtil e o material superior – **22°**;
- δ_i – Ângulo de atrito entre o geotêxtil e o material inferior – **10°**;
- β – Ângulo da força mobilizadora do geotêxtil com a horizontal – **25°**.

Deste modo, de acordo com a fórmula (2):

$$e_{req} \approx 2,1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Considerando um factor de segurança de 1,5 vê-se que:

$$e_{req} \approx 3,1 \times 10^{-3} \text{ m} \approx 3,1 \text{ mm}$$

Punçoamento

$$(3) \quad F_{cbr} = (F_p \times d_p) / (d_a \times S)$$

$$(4) \quad F_p = [(\pi \times d_a^2) / 4] \times P$$

Sendo:

d_p – Diâmetro do pilão de ensaio – **0,05 m**;

d_a – Diâmetro médio do material da camada drenante – **40 mm**;

S – Esfericidade do material (**$S = 0,5$**);

P – Pressão exercida (KN / m²)

Deste modo, de acordo com a fórmula (4):

$$F_p = 0,32 \text{ KN} \approx 320 \text{ N}$$

De acordo com a fórmula (3) vêm que:

$$F_{cbr} = 0,79 \text{ KN} \approx 790 \text{ N}$$

Considerando um factor de segurança de 2 vêm que:

$$F_{cbr} = 1,6 \text{ KN} \approx 1.600 \text{ N}$$

Rasgamento

$$(5) \quad F = \pi \times d_a^2 \times P \times S'$$

Sendo:

d_a – Diâmetro médio do material da camada drenante – **40 mm**;

S' – Factor de forma $\Rightarrow S' = (1 - S)$, sendo S a esfericidade (**$S = 0,5$**);

P – Pressão exercida (KN / m^2)

Deste modo, de acordo com a fórmula (5):

$$F = 0,81 \text{ KN} \approx 630 \text{ N}$$

Considerando um factor de segurança de 4 vêm que:

$$F = 2,5 \text{ KN} \approx 2.500 \text{ N}$$

1.4 QUADROS RESUMO

No quadro seguinte são apresentados os valores mínimos de espessura, resistência à tracção e resistência ao punçoamento que os materiais a aplicar devem apresentar.

Tabela 1 – Especificações Técnicas da geomembrana HDPE

Material	Geomembrana HDPE		
Propriedades	Unidade	Norma	Valor
Espessura	mm	ASTM D 5199	2,0
Densidade	g/cm ³	ASTM D 792	≥ 0,94
Resistência ao rasgamento	N	ASTM D 1004	≥ 280
Resistência ao punçoamento	N	ASTM S 4833	≥ 690
Resistência à tracção (ambas as direcções)	N/mm	ASTM D 638 /	32
Conteúdo em negro de carbono	%	ASTM D 1603	2,0 – 3,0
Dispersão de negro de carbono	-	ASTM D 5596	1 / 2

Tabela 2 – Especificações Técnicas do geotêxtil não tecido

Material	Geotêxtil não tecido		
Propriedades	Unidade	Norma	Valor
100% polipropileno	%	-	100
Espessura	mm	EN ISO 9863 - I	3,10
Massa por unidade de área	g/m ²	EN ISO 9864	300
Resistência à tracção (ambas as direcções)	KN/m	EN ISO 10319	2,50
Resistência à oxidação	%	EN ISO 13438	≥ 50

Na Tabela 3 são resumidas as características técnicas mínimas do geocompósito bentonítico à aplicar para impermeabilização da zona basal e taludes da célula de deposição de RSU.

Tabela 3 – Especificações Técnicas do Geocompósito Bentonítico

Material	Geocompósito Bentonítico		
Propriedades da bentonite	Unidade	Norma	Valor
Bentonite Sódica Natural	%	-	100
Montmorilonite	%	XRD	≥ 70
Absorção de água	%	ASTM E 946	≥ 650
Propriedades do GCL	Unidade	Norma	Valor
Massa de bentonite por unidade de área	g/m ²	UNE EN 14196	≥ 5.500
Coeficiente de permeabilidade	m/s	ASTM D 5887	≤ 2,0 x 10 ⁻¹¹
Resistência à tracção (ambas as direcções)	kN/m	UNE EN ISO 12236	12
Propriedades do Geotêxtil	Unidade	Norma	Valor
Polipropileno, não tecido, agulhado	-	-	-
Massa por unidade de área	g/m ²	UNE EN 965	220

1.5 DIMENSIONAMENTO DA VALA DE ANCORAGEM

A ancoragem dos geossintéticos consegue-se pela mobilização das forças tangenciais de atrito, no contacto com o terreno na zona de amarração. As forças tangenciais resultam da tensão normal na zona de contacto pela componente friccional, ou seja, a tangente do ângulo de atrito na interface.

Quando estes se encontram a tensão normal resulta da acção do peso das terras colocadas superiormente, e quando se situam na vertical a tensão corresponde ao impulso em repouso.

A força máxima a transferir para o terreno é de valor igual ao máximo da força de tracção admitida na geomembrana. Assim temos:

$$R_{\text{tracção}} = 10 \text{ KN} / \text{m}$$

$$(6) \quad R_{\text{tracção}} = [Y_s \times (h_v + h_s) \times b \times \tan \alpha] + (Y_s \times L \times h_s \times \tan \alpha)$$

Sendo:

Y_s – Peso específico da camada de impermeabilização – **21 KN / m³**

h_s – Altura da camada sobre a vala (m)

h_v – Altura da vala (m)

b – Largura da vala (m)

L – Comprimento entre a crista do talude e a vala de amarração (m)

α – Ângulo de atrito no contacto com o geossintético – **20°**

Substituindo-se os valores pode-se adoptar uma vala de ancoragem com o mínimo de profundidade de $h_v = 0,70$ m desde que sejam garantidos:

Tabela 4 – Estrutura da vala de amarração

Profundidade - h_v (m)	0,70
Comprimento entre a crista do talude e a vala de amarração - L (m)	1,0
Largura da vala - b (m)	0,50
Altura da camada sobre a vala - h_s (m)	0,70

I.6 SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL

A drenagem das águas pluviais tem, no presente caso, grande relevância, dada a configuração do terreno, a forma de implantação do aterro e o clima da região.

A resolução dos problemas passa por vários aspectos importantes a ter em conta:

- Desvio das águas pluviais das vertentes naturais que drenam na direcção da área do aterro de RSU;
- Drenagem das águas pluviais precipitadas directamente dentro da área impermeabilizada do aterro de RSU;
- Drenagem das águas pluviais precipitadas sobre os estratos de RSU em aterro;

Os caudais pluviais dependem essencialmente de:

- ✓ Intensidade média de precipitação, que depende das condições climatológicas da região, a sua natureza aleatória está associada a determinada frequência de ocorrência e determinada duração da chuvada;
- ✓ Área de drenagem;
- ✓ Características físicas da bacia drenante, nomeadamente infiltração, velocidade de escoamento superficial, inclinação e dimensões da bacia drenante.

A estimativa do caudal de ponta de águas pluviais foi realizada com base no Método Racional, que é traduzido matematicamente pela seguinte expressão:

$$(7) \quad Q = C \times i \times A$$

Sendo:

Q - caudal de ponta de cheia num determinado ponto (m^3/s);

C - coeficiente de escoamento, dependente do tipo e características da superfície do terreno (adimensional);

i - intensidade média de precipitação (m/s);

A - área da bacia afluente ao ponto considerado (m^2);

As hipóteses de base do Método Racional residem no conceito de tempo de concentração, (t_c), e na linearidade da relação entre a precipitação útil ($C \times i$), e o caudal de ponta, (Q).

Da hipótese de linearidade resulta que a ocorrência do caudal de ponta coincide com o instante em que a totalidade da bacia está a contribuir para o escoamento, ou seja, ao fim de um intervalo de tempo igual ao tempo de concentração, t_c . O valor da intensidade de precipitação a considerar é, assim, o valor da intensidade média máxima para uma duração igual ao tempo de concentração.

Como este valor está sempre associado a uma frequência de ocorrência (ou período de retorno T), ao valor do caudal máximo está implicitamente associada a mesma frequência.

O coeficiente C é o único parâmetro representativo da transformação precipitação-escoamento. Varia com o tipo de solo, incluindo a sua capacidade de infiltração, o tipo de cobertura da superfície, as condições climatéricas e inclinações do terreno. Considerando que a área para a qual é efectuado o cálculo se encontra impermeabilizada, é utilizado o coeficiente de escoamento **C = 1,0**.

A intensidade média da precipitação, para determinada duração e período de retorno, pode ser obtida tendo em conta as curvas apropriadas de intensidade-duração-frequência (I-D-F), desenvolvidas por Matos (1986) para Portugal. As referidas curvas, desenvolvidas para três regiões pluviométricas A, B e C são as constantes do Anexo IX do Decreto Regulamentar N° 23/95 de 23 de Agosto.

A intensidade média de precipitação obtém-se a partir da expressão:

$$(8) \quad i = a \times t^b$$

Sendo:

i - intensidade média de precipitação (mm/h) para a duração t;

t - duração da chuvada (min), normalmente igual ou superior a 15 min;

a e b - constantes dependentes do período de retorno frequência da zona do país.

A intensidade média da precipitação, i, deve ser avaliada para condições críticas, ou seja, deve admitir-se que toda a área da bacia contribui para o caudal avaliado na secção de interesse, o que, por definição, acontece a partir do momento em que a duração da chuvada iguala o tempo de concentração da bacia.

Para durações inferiores ao tempo de concentração, nem toda a bacia contribui para o caudal de ponta máximo. Para durações superiores, é menor a intensidade média de precipitação e, portanto, menor o caudal correspondente.

Tendo por base a prática comum de dimensionamento de sistemas de drenagem pluvial, o período de retorno geralmente adoptado é de 5 anos.

Após a selecção da região pluviométrica **(A)** onde se insere o local e escolha do período de retorno a considerar, obtêm-se a expressão da intensidade de precipitação característica (valores das constantes a e b da expressão anterior).

Na tabela 5 encontram-se os dados de base a considerar para o cálculo do caudal de águas pluviais.

Tabela 5 – Dados de base para o cálculo do caudal de águas pluviais

Parâmetro		Valor
Período de retorno (anos)		5
Constantes	A	259,26
	B	-0,562
Coeficiente de escoamento		1,0
Duração da Chuvada (min.)		30
Intensidade de precipitação (mm/h)		38,33
Intensidade de precipitação (L/s.ha)		106,49

A verificação das condições de escoamento para o caudal associado a um período de retorno de 5 anos será efectuada com base nas fórmulas de *Manning – Strickler* (9) e na fórmula monómia para escoamentos em tubagens de plástico (10), respectivamente:

$$(9) \quad Q = K_s \times S \times R^{2/3} \times i^{1/2}$$

$$(10) \quad Q = 58,9 \times D^{2,69} \times i^{0,56}$$

Sendo:

K_s – Coeficiente de rugosidade da tubagem – **125 (tubagem em polietileno)**

S – Secção de escoamento (m^2) – **0,052 m^2**

D – Diâmetro interno da tubagem (m) – **0,2576 m**

R – Raio hidráulico – **0,0644 m**

i – Perda de carga unitária – **0,02 m/m**

Tendo por base a experiência no dimensionamento de estruturas semelhantes, as tubagens de drenagem da zona basal não deverão apresentar um diâmetro nominal inferior a Ø 315, por forma a evitar a sua rápida colmatção por acção dos finos arrastados.

Assim, de acordo com a fórmula (9), **$Q = 147,7 \text{ L/s}$** e de acordo com a fórmula (10), **$Q = 171,4 \text{ L/s}$** .

De acordo com a modelação desenvolvida, as áreas impermeabilizadas, correspondentes a cada fase / alvéolo são:

✓ Fase A – [alvéolo de maior dimensão (4)] – 8.240 m^2

✓ Fase B – [alvéolo de maior dimensão (7)] – 10.300 m^2

Pelo que, o caudal máximo correspondente a um período de retorno de 5 anos a drenar em cada fase é:

✓ Fase A - [alvéolo de maior dimensão (4)] - $Q = 87,75 \text{ L/s}$

✓ Fase B - [alvéolo de maior dimensão (7)] - $Q = 109,70 \text{ L/s}$

Verifica-se que o sistema de drenagem projectado apresenta um sobre-dimensionamento mínimo de $147,7 / 109,7 = 1,35$, o que se considera aceitável para a infra-estrutura em dimensionamento.

O projecto prevê a colocação de uma meia cana pré – fabricada em betão com 50 cm de largura a bordejar a via de circulação de acesso à zona de confinamento. As condições de escoamento nesta caleira vão ser avaliadas com base na fórmula de Chézy:

$$(11) Q = C \times S \times (R \times i)^{1/2}$$

Sendo:

C – Coeficiente determinado fórmula de Bazin $C = (87 \times R^{1/2}) / (KB + R^{1/2}) = 53,00 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{-1}$

KB – Coeficiente de rugosidade – $0,16 \text{ m}^{1/2}$

S – Secção de escoamento (m^2) – $0,025 \text{ m}^2$

R – Raio hidráulico – $0,0625 \text{ m}$

i – Perda de carga unitária – $0,06 \text{ m/m}$

Assim, de acordo com a fórmula (11), $Q = 81,1 \text{ L/s}$. As águas pluviais drenadas por esta caleira são conduzidas para o solo.

Preconiza-se ainda a colocação de uma meia cana pré – fabricada em betão com 30 cm a bordejar a via de circulação envolvente das lagoas de regularização e homogeneização. De acordo com a fórmula (11), o caudal drenado por aquela meia – cana será $Q = 11,50 \text{ L/s}$, considerando:

C – Coeficiente determinado fórmula de Bazin $C = (87 \times R^{1/2}) / (KB + R^{1/2}) = 47,64 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{-1}$

KB – Coeficiente de rugosidade – $0,16 \text{ m}^{1/2}$

S – Secção de escoamento (m^2) – $0,0088 \text{ m}^2$

R – Raio hidráulico – $0,0375 \text{ m}$

i – Perda de carga unitária – $0,02 \text{ m/m}$

1.7 SISTEMA DE DRENAGEM DE FUNDO E CAPTAÇÃO DE ÁGUAS LIXIVIANTES

1.7.1 Estimativa da produção de águas lixiviantes

Existem vários métodos que permitem fazer a previsão do volume de lixiviados produzidos por uma determinada massa de resíduos depositados. Um dos métodos consiste na elaboração de um balanço hídrico que, tendo em conta as características de precipitação e evapotranspiração locais, permite fazer uma estimativa do caudal de lixiviados expectável.

A equação do balanço hídrico é apresentada de seguida:

$$(12) \quad L = P - EV - ES - I + S$$

Sendo:

L – Produção de lixiviados;

P – Precipitação no local;

EV – Evaporação real;

ES – Escoamento superficial;

I – Infiltração das águas lixiviantes no solo;

S – Água mobilizada contida nos resíduos

Para o dimensionamento assume-se a situação mais desfavorável, ou seja, considera-se que o escoamento superficial é nulo – solo saturado em água.

Assume-se igualmente que a infiltração de águas lixiviantes no solo é nula, uma vez que os alvéolos de deposição estão impermeabilizados e que o escoamento superficial é nulo – solo saturado em água.

Na tabela seguinte são apresentadas as precipitações médias mensais e a evaporação média mensal no período 1951 – 1980, para a Estação Meteorológica de Coimbra:

Tabela 6 – Precipitação e evaporação média mensal registada na Estação de Coimbra no período 1951 – 1980

	Precipitação Média (mm)	Precipitação máxima diária(mm)	Evaporação Média (mm)	Diferença (mm)
	A	B	C	(A-C)
Janeiro	146,3	57,3	62,6	83,7
Fevereiro	138,9	60,9	64,3	74,6
Março	121,5	61,0	87,7	33,8
Abril	78	63,9	94,7	-16,7
Maio	79,9	54,5	103,4	-23,5
Junho	47,1	50,0	108,5	-61,4
Julho	14,2	26,1	133,6	-119,4
Agosto	15,9	50,5	132,3	-116,4
Setembro	47,7	65,7	108,8	-61,1
Outubro	96,5	57,8	96,9	-0,4
Novembro	123,2	75,8	70	53,2
Dezembro	129	79,3	57,7	71,3

DETERMINAÇÃO DO CAUDAL MÁXIMO DIÁRIO

A precipitação máxima diária mais elevada, registada na estação meteorológica de Coimbra ocorreu no mês de Dezembro – 79,3 mm. Admitindo que a precipitação se concentrou homogeneamente durante as horas do dia, a precipitação horária é $79,3/24 = 3,30$ mm/hora = **9,20 L/s.ha**

Deste modo, a precipitação máxima diária anual determinada para cada fase de deposição é:

- Fase A - Alvéolo (4) = $9,20 \text{ L / s.ha} \times 86.400 \text{ s} = 795 \text{ m}^3.\text{dia / ha} = \mathbf{655 \text{ m}^3 / \text{dia}}$
- Fase B - Alvéolo (7) = $9,20 \text{ L / s.ha} \times 86.400 \text{ s} = 795 \text{ m}^3.\text{dia / ha} = \mathbf{819 \text{ m}^3 / \text{dia}}$

Relativamente à água mobilizada a partir dos resíduos depositados, para uma deposição anual de 77.063 m³ e uma humidade inicial de 40%, o volume máximo de águas lixiviantes produzido diariamente é **84,50 m³**.

Assim, estima-se uma produção máxima diária de:

- **Fase A – (alvéolo 4) – 739,5 m³** (L = 655 + 84,50 m³/dia) de lixiviados
- **Fase B – (alvéolo 7) – 903,5 m³** (L = 819 + 84,50 m³/dia) de lixiviados

DETERMINAÇÃO DO CAUDAL MÉDIO DIÁRIO

Verifica-se que apenas nos meses de Novembro a Março a precipitação média excede a evaporação média, originando infiltração ou escoamento superficial de águas pluviais. O mês mais desfavorável, onde a diferença entre a precipitação média e a evaporação média é superior, é o mês de Janeiro – **83,7 mm / mês**. Assumindo que a precipitação mensal se

distribui homogeneamente durante o mês, a precipitação média diária é de $83,7 / 31 = 2,7$ mm

/ dia = 0,11 mm / hora = **0,31 L/s.ha.**

Deste modo, a precipitação média diária anual determinada para cada fase de deposição é:

- Fase A - Alvéolo (4) = $0,31 \text{ L} / \text{s.ha} \times 86.400 \text{ s} = 26,78 \text{ m}^3.\text{dia} / \text{ha} = \mathbf{22,10 \text{ m}^3 / \text{dia}}$
- Fase B - Alvéolo (7) = $0,31 \text{ L} / \text{s.ha} \times 86.400 \text{ s} = 26,78 \text{ m}^3.\text{dia} / \text{ha} = \mathbf{27,60 \text{ m}^3 / \text{dia}}$

Assim, estima-se uma produção média diária de:

- **Fase A – (alvéolo 4) – 106,60 m³** ($L = 22,10 + 84,50 \text{ m}^3/\text{dia}$) de lixiviados
- **Fase B – (alvéolo 7) – 112,10 m³** ($L = 27,60 + 84,50 \text{ m}^3/\text{dia}$) de lixiviados

1.8 REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS LIXIVIANTES

Para o dimensionamento da rede de drenagem de águas lixiviantes serão respeitadas as exigências do Decreto – Regulamentar nº23/95 de 23 de Agosto, bem como as orientações do *Manual de Saneamento Básico*, Tomo II, 1990, Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais.

O diâmetro dos colectores a instalar no interior dos alvéolos de confinamento técnico não será inferior a Ø 315, por forma a evitar a sua rápida colmatção por acção dos finos, arrastados do fundo do aterro.

Na figura seguinte é apresentada uma representação esquemática da rede de drenagem de lixiviados – Fase A:

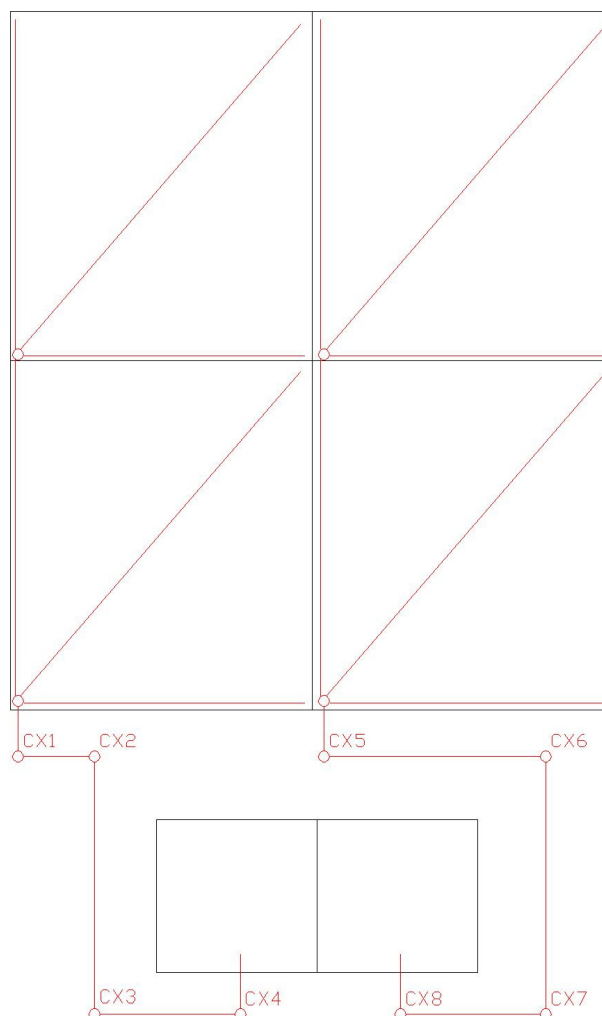


Figura I – Esquema da rede de drenagem

No dimensionamento desenvolvido procurou-se obter um poder de transporte compatível com o serviço espectável dos colectores, por forma a garantir condições de auto-limpeza.

Na Tabela 7 são apresentados os diâmetros nominais de todas as tubagens da rede, as velocidades de escoamento calculadas, bem como as cotas da rasante e da geratriz do colector e a escavação necessária.

Tabela 7 – Dimensionamento da Rede de Drenagem de Lixiviados – Fase A
 Caudal máximo diário (10,46 L/s)

Troço	Dimensionamento				Cota Rasante		Cota Geratriz		Altura de Escavação		
	D. Externo (m)	Inclinação	V (m/s)	Ptransporte (N/m ²)	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Minima
Alv 1 - Cx1	0,315	0,020	1,5	3,2	37,63	37,18	37,95	37,50	-	8,89	1,42
Cx1 - Cx2	0,315	0,005	0,9	1,2	37,18	37,02	37,50	37,33	8,89	8,72	1,42
Cx2 - Cx3	0,315	0,005	0,9	1,2	37,02	36,66	37,33	36,97	8,72	2,41	1,42
Cx3 - Cx4	0,315	0,005	0,9	1,2	36,66	36,45	36,97	36,77	2,41	2,62	1,42
Cx4 - lagoa 1	0,315	0,005	0,9	1,2	36,45	36,38	36,77	36,70	2,62	-	1,42
Alv 2 - Cx5	0,315	0,020	1,5	3,2	37,54	37,14	37,86	37,46	-	7,06	1,42
Cx5 - Cx6	0,315	0,005	0,9	1,2	37,14	36,85	37,46	37,16	7,06	5,09	1,42
Cx6- Cx7	0,315	0,005	0,9	1,2	36,85	36,54	37,16	36,86	5,09	4,48	1,42
Cx7 - Cx8	0,315	0,005	0,9	1,2	36,54	36,43	36,86	36,74	4,48	2,64	1,42
Cx8 - lagoa 2	0,315	0,005	0,9	1,2	36,43	36,36	36,74	36,68	2,64	-	1,42

Na tabela 8 apresentam-se os resultados do cálculo para o caudal médio diário.

Tabela 8 – Dimensionamento da Rede de Drenagem de Lixiviados – Fase A
 Caudal médio diário - (1,30 L/s)

Troço	Dimensionamento				Cota Rasante		Cota Geratriz		Altura de Escavação		
	D. Externo (m)	Inclinação	V (m/s)	Ptransporte (N/m ²)	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Minima
Alv 1 - Cx1	0,315	0,020	0,9	1,9	37,63	37,18	37,95	37,50	-	8,89	1,42
Cx1 - Cx2	0,315	0,005	0,4	0,5	37,18	37,02	37,50	37,33	8,89	8,72	1,42
Cx2 - Cx3	0,315	0,005	0,4	0,5	37,02	36,66	37,33	36,97	8,72	2,41	1,42
Cx3 - Cx4	0,315	0,005	0,4	0,5	36,66	36,45	36,97	36,77	2,41	2,62	1,42
Cx4 - lagoa 1	0,315	0,005	0,4	0,5	36,45	36,38	36,77	36,70	2,62	-	1,42
Alv 2 - Cx5	0,315	0,020	0,9	1,9	37,54	37,14	37,86	37,46	-	7,06	1,42
Cx5 - Cx6	0,315	0,005	0,4	0,5	37,14	36,85	37,46	37,16	7,06	5,09	1,42
Cx6- Cx7	0,315	0,005	0,4	0,5	36,85	36,54	37,16	36,86	5,09	4,48	1,42
Cx7 - Cx8	0,315	0,005	0,4	0,5	36,54	36,43	36,86	36,74	4,48	2,64	1,42
Cx8 - lagoa 2	0,315	0,005	0,4	0,5	36,43	36,36	36,74	36,68	2,64	-	1,42

Considerando que o poder de transporte da rede é pouco significativo, é provável a deposição de sólidos durante a vida útil da rede, pelo que se recomenda a sua limpeza periódica, podendo ser utilizadas para o efeito as bocas de lavagem existentes.

1.9 REDE DE ABASTECIMENTO

Para o dimensionamento da rede de abastecimento serão respeitadas as exigências do Decreto – Regulamentar nº23/95, de 23 de Agosto, bem como as orientações do Manual de Saneamento Básico, Tomo II, 1990, Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais.

A rede de abastecimento apresenta uma extensão de aproximadamente 1.700 metros de condutas e um total de dezoito bocas de rega/lavagem. Na figura seguinte é apresentada uma representação esquemática da rede de abastecimento.

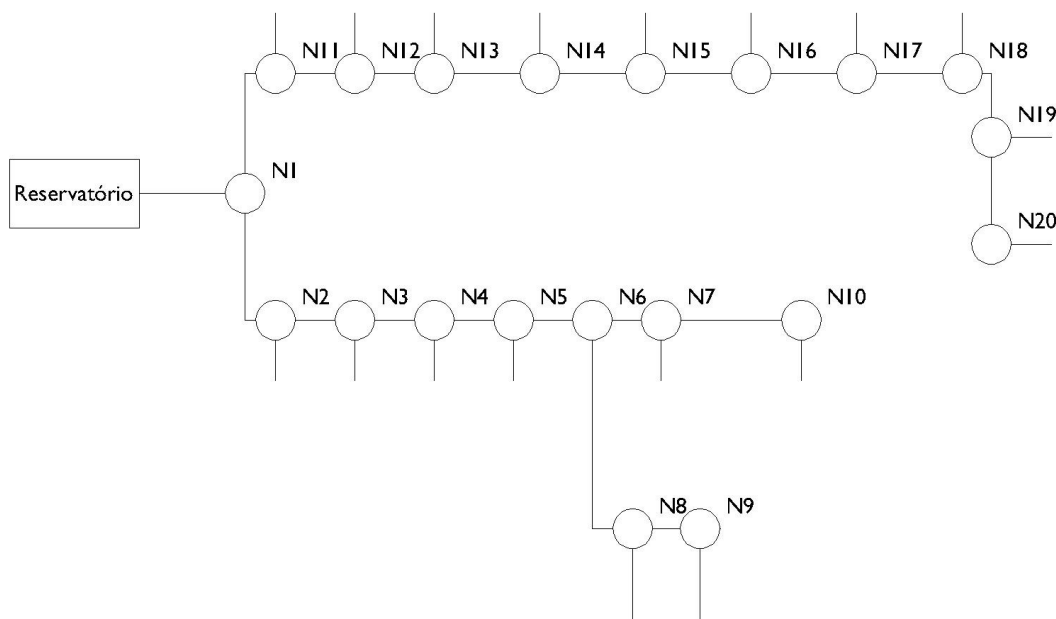


Figura 2 – Esquema da rede de abastecimento

A rede de abastecimento foi dimensionada considerando a possibilidade de funcionamento em simultâneo de todos os seus elementos acessórios.

Os caudais mínimos característicos destes elementos e os caudais de cálculo para um nível médio de conforto, foram obtidos por consulta dos anexos IV e V do Decreto Regulamentar nº 23/95, e são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 7 – Caudais de cálculo para a rede de abastecimento

Elemento	Nº de elementos	Caudal mínimo (L/s)	Caudal Acumulado (L/s)	Caudal de Cálculo (L/s)
Boca de rega / lavagem ø 20	18	0,45	8,1	1,70

O caudal de cálculo apresentado na tabela anterior é acrescido de um factor de perdas de 20%, por forma a compensar eventuais fugas ou perdas na rede. O dimensionamento das tubagens assentes sob as vias de circulação teve por base a fórmula monómia para escoamentos em tubagens de plástico – Fórmula (10)

De acordo com o Decreto – Lei nº 23/95, de 23 de Agosto, a velocidade de escoamento nas tubagens nunca é inferior a 0,30 m /s.

Na Tabela 8 – Dimensionamento da Rede de Abastecimento são apresentados os diâmetros nominais de todas as tubagens da rede e respectivas velocidades de escoamento.

Tabela 8 – Dimensionamento da Rede de Abastecimento

Troço	Nominal (mm)	Velocidade (m/s)
R - NI	50	1,43

N1 - N2	40	0,99
N2 - Br1 (ramal)	20	0,47
N2 - N3	40	0,87
N3 - Br2 (ramal)	20	0,47
N3 - N4	40	0,75
N4 - Br3 (ramal)	20	0,47
N4 - N5	32	0,97
N5-Br4 (ramal)	20	0,47
N5 - N6	32	0,79
N6 - N8	20	1,10
N8 - Br5 (ramal)	20	0,47
N8-N9	20	0,53
N9 - Br6 (ramal)	20	0,47
N6 - N7	20	1,09
N7 - Br7 (ramal)	20	0,47
N7 - N10	20	0,52
N10 - Br8 (ramal)	20	0,47
N1 - N11	40	1,25
N11 - Br9 (ramal)	20	0,47
N11 - N12	40	1,13
N12 - Br10 (ramal)	20	0,47
N12 - N13	40	1,00
N13 - Br11 (ramal)	20	0,47
N13 - N14	40	0,88
N14 - Br12 (ramal)	20	0,47
N14 - N15	40	0,75
N15 - Br13 (ramal)	20	0,47
N15 - N16	32	0,96
N16 - Br14 (ramal)	20	0,47
N16 - N17	32	0,77
N17 - Br15 (ramal)	20	0,47
N17- N18	32	0,57
N18 - Br16 (ramal)	20	0,47
N18 - N19	20	1,08
N19 - Br17 (ramal)	20	0,47
N19 - N20	20	0,53
N20 - Br18 (ramal)	20	0,47

Em resultado do dimensionamento realizado, a bomba da rede de abastecimento apresenta as características que a seguir se discriminam:

- ✓ Caudal Unitário.....2,50 L/s (9,0 m³/h)
- ✓ Altura de elevação.....53,6 m.c.a.
- ✓ Sistema automático de arranque e paragem através de pressostato

No anexo I é apresentada a tabela de dimensionamento da rede de abastecimento.

1.10 REDE DE INCÊNDIO

Para o dimensionamento da rede de incêndio serão respeitadas as exigências do Decreto – Regulamentar n.º23/95, de 23 de Agosto, bem como as orientações do Manual de Saneamento Básico, Tomo II, 1990, Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais.

A rede de incêndio apresenta uma extensão de aproximadamente 1.700 metros de condutas e um total de dezoito marcos de incêndio. A rede de incêndio possui uma representação esquemática idêntica à da figura 2.

A rede de incêndio foi dimensionada considerando a possibilidade de funcionamento em simultâneo de todos os seus elementos acessórios. Consideram-se os caudais mínimos definidos na tabela seguinte:

Tabela 9 – Caudais de cálculo para a rede de incêndio

Elemento	Nº de elementos	Caudal mínimo (L/s)	Caudal de Cálculo (L/s)
Marco de água	18	2,5	45

O caudal de cálculo apresentado na tabela anterior é acrescido de um factor de perdas de 10% por forma a compensar eventuais fugas ou perdas na rede. O dimensionamento das tubagens assentes sob as vias de circulação teve por base a fórmula monómia para escoamentos em tubagens de plástico – Fórmula (10).

Na Tabela 10 são apresentados os diâmetros nominais de todas as tubagens da rede e respectivas velocidades de escoamento.

Tabela 10 – Dimensionamento da Rede de Incêndio

Troço	Nominal (mm)	Velocidade (m/s)
R - N1	250	1,51
N1 - N2	180	1,29
N2 - Br1 (ramal)	90	0,59
N2 - N3	180	1,13
N3 - Br2 (ramal)	90	0,59
N3 - N4	180	0,97
N4 - Br3 (ramal)	90	0,59
N4 - N5	180	0,81
N5-Br4 (ramal)	90	0,59
N5 - N6	140	1,07
N6 - N8	90	1,27
N8 - Br5 (ramal)	90	0,59
N8-N9	90	0,62
N9 - Br6 (ramal)	90	0,59
N6 - N7	90	1,27
N7 - Br7 (ramal)	90	0,59
N7 - N10	90	0,62
N10 - Br8 (ramal)	90	0,59
N1 - N11	250	0,84
N11 - Br9 (ramal)	90	0,59
N11 - N12	180	1,46
N12 - Br10 (ramal)	90	0,59
N12 - N13	180	1,30
N13 - Br11 (ramal)	90	0,59
N13 - N14	180	1,13

N14 - Br12 (ramal)	90	0,59
N14 - N15	180	0,97
N15 - Br13 (ramal)	90	0,59
N15 - N16	180	0,80
N16 - Br14 (ramal)	90	0,59
N16 - N17	140	1,06
N17 - Br15 (ramal)	90	0,59
N17- N18	140	0,79
N18 - Br16 (ramal)	90	0,59
N18 - N19	90	1,26
N19 - Br17 (ramal)	90	0,59
N19 - N20	90	0,62
N20 - Br18 (ramal)	90	0,59

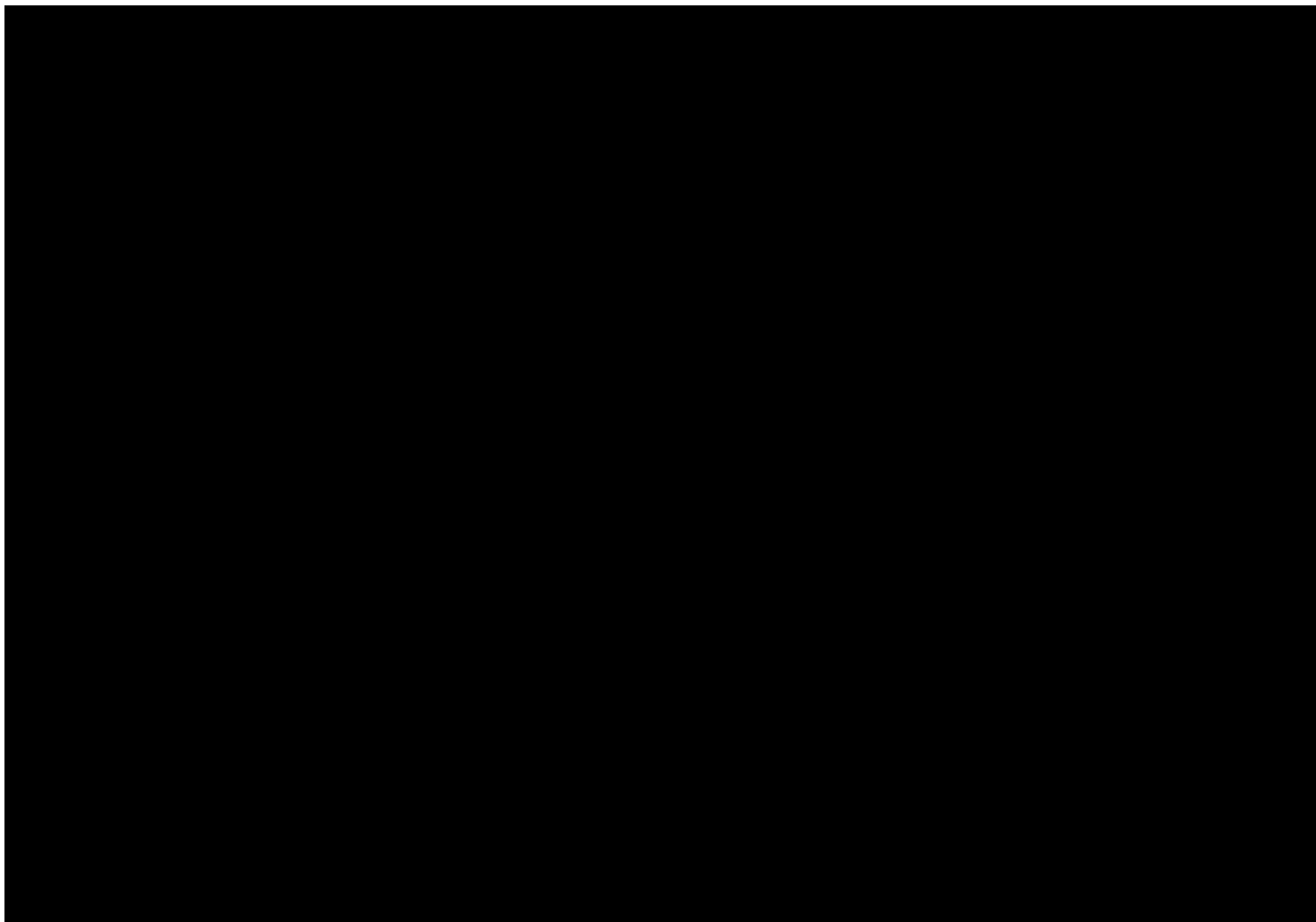
Em resultado do dimensionamento realizado, a bomba da rede de incêndio apresenta as características que a seguir se descriminam:

- ✓ Caudal Unitário.....59,4 L/s (213,8 m³/h)
- ✓ Altura de elevação.....48,50 m.c.a.
- ✓ Sistema automático de arranque e paragem através de pressostato

No anexo II é apresentada a tabela de dimensionamento da rede de incêndio.

ANEXO I

Dimensionamento da Rede de Abastecimento



ANEXO II

Dimensionamento da Rede de Incêndio

