

## NORDAREIAS

# AVALIAÇÃO DE PASSAGEM HIDRÁULICA SOBRE A RIBEIRA DOS CARVALHAIS – PROPOSTA DE SOLUÇÃO CORTIÇOS, MACEDO DE CAVALEIROS

(relatório\_2008030\_v1\_20outubro2020)

Vila Nova de Gaia, Outubro de 2020

3				
2				
1	23set20	2008030_v1_23set20	Revisão	AGD
0	18set20	2008030_v1_18set20	Primeira versão completa	BCR
rev.	data	relatório	motivo da revisão	autor

CONGEO, Consultores de Geologia, Lda. ■ Rua Dr. Ribeiro Magalhães, 89 2ºEsq-Tras, Santa Marinha  
4400 - 285 VILA NOVA DE GAIA ■ 351 222 434 999 ■ congeo.consultores@congeo.pt

## NORDAREIAS

# AVALIAÇÃO DE PASSAGEM HIDRÁULICA SOBRE A RIBEIRA DOS CARVALHAIS – PROPOSTA DE SOLUÇÃO CORTIÇOS, MACEDO DE CAVALEIROS

(relatório\_2008030\_v1\_20outubro2020)

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	4
2.	ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO .....	5
2.1	Caracterização da Bacia Hidrográfica .....	5
2.2	Aplicação do Método Racional .....	6
2.3	Verificação do Dimensionamento da Passagem Hidráulica .....	11
3.	SOLUÇÃO ALTERNATIVA.....	13
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	15

## ANEXOS

ANEXO I – Manning – Manilha 800

ANEXO II – Manning – Secção retangular

ANEXO III – Proposta de solução alternativa

## Índice de Tabelas

Tabela I – Coeficiente “C” em função da tipologia de superfície (adaptado de Concrete Pipe Handbook 1958).....	8
Tabela II - Valores médios do coeficiente “C” para utilização na fórmula racional (Manual nº 37, ASCE).....	8
Tabela III - Cálculo do caudal de ponta de cheia.....	10
Tabela IV - Períodos de retorno para 2, 10, 50 e 100 anos.....	11
Tabela V - Valores de n da fórmula de Manning-Strickler (Lencastre, 1991).....	12
Tabela VI - Solução da equação de Manning-Strickler para as atuais condições.....	12
Tabela VII– Solução da equação de Manning-Strickler para uma PH de secção retangular.....	13

## Índice de Figuras

Figura 1 – Bacia e rede de drenagem da Ribeira dos Carvalhais, a montante da passagem hidráulica em estudo.....	5
Figura 2 – Regiões pluviométricas e parâmetros a e b das curvas IDF (Matos, 1987).....	7
Figura 3 – Esquema da atual passagem hidráulica.....	11
Figura 4 – Exemplo de <i>box-culvert</i> a utilizar na alteração da passagem hidráulica.....	13

## 1. INTRODUÇÃO

O presente Estudo Hidrológico tem por objetivo:

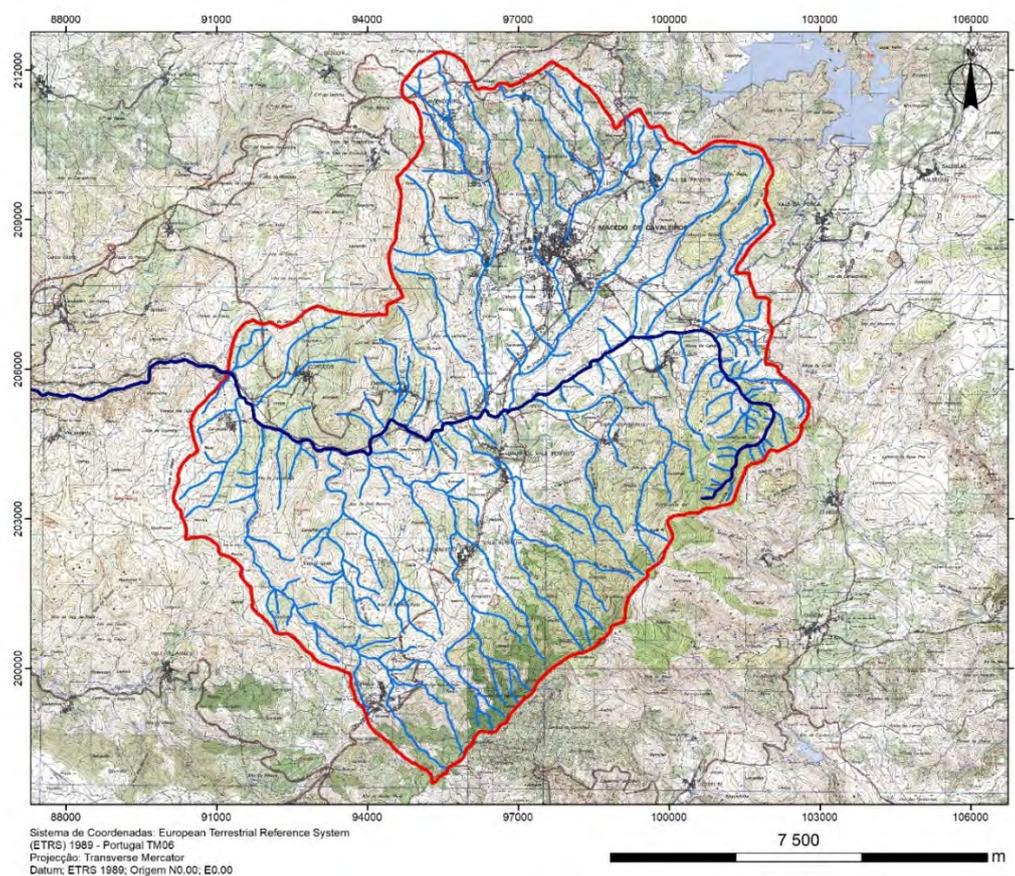
- contribuir para o licenciamento de uma passagem hidráulica sobre a Ribeira de Carvalhais, que serve a atividade de uma pedreira da NORDAREIAS, localizada em Cortiços, Macedo de Cavaleiros;
- justificar, em função da sua dimensão, a capacidade para permitir a passagem de um caudal que resulte de uma precipitação em diferentes períodos de retorno;
- propor uma situação alternativa caso se chegue à conclusão de que a atual situação não apresenta capacidade para caudais extremos.

## 2. ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

### 2.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica da Ribeira dos Carvalhais, a montante da passagem hidráulica em estudo, é uma bacia de média dimensão (ou se quisermos de grande dimensão para a tipologia da ribeira no ponto de estudo), com uma rede de drenagem que se encontra fortemente hierarquizada, apresentando um sem número de linhas de água de 2º, 3º e mesmo de 4ª ordem. Esta bacia pode ser observada na

Figura 1.



#### Legenda

- Ribeira de Carvalhais
- Linhas de água afluentes da Ribeira de Carvalhais
- ▭ Bacia de drenagem

Figura 1 – Bacia e rede de drenagem da Ribeira dos Carvalhais, a montante da passagem hidráulica em estudo.

Esta bacia pode ser caracterizada pelos seguintes parâmetros hidráulicos:

- a área da bacia: 10.428 ha, ou seja 104,28 km<sup>2</sup>;
- o ponto de cota mais alta da bacia (onde nasce a Ribeira dos Carvalhais): 830 m;
- a cota da ribeira na passagem hidráulica: 447 m;
- declive médio da Ribeira dos Carvalhais entre os dois pontos referidos: 2,5%.

## 2.2 Aplicação do Método Racional

O caudal de ponta foi estimado recorrendo ao Método Racional, aplicável à obtenção de caudais de ponta de cheia em pequenas e médias bacias hidrográficas, associados a precipitações excecionais com intensidade sensivelmente uniforme, com durações iguais aos tempos de concentração daquelas bacias e períodos de retorno fixados em conformidade com o objetivo a que se destina a análise de cheias.

O método racional pode ser expresso pela seguinte equação:

$$Q_p = (C \times I \times A)/360 \quad [1]$$

Sendo:

- Q<sub>p</sub> - Caudal de ponta (m<sup>3</sup>/s)
- C - Coeficiente de escoamento
- I - Intensidade de precipitação (mm/h)
- A - Área da bacia de drenagem (ha).

Em que:

$$I = a \times t_c^b \quad [2]$$

Sendo:

- t<sub>c</sub> - Tempo de concentração (min)
- a e b - obtidos a partir das curvas idf.

O valor para o tempo de concentração (t<sub>c</sub>) será obtido por via analítica, pelas expressões propostas por Temez [3], Ventura [4], Picking [5] ou Kirpich [6], enquanto os valores de a e b podem ser obtidos diretamente a partir de expressões analíticas ou de gráficos das curvas de intensidade-duração-frequência (curvas IDF)

aplicáveis a Portugal Continental e que figuram no “Projeto de Regulamento Nacional de Drenagem de Águas Residuais” (ver Figura 2).

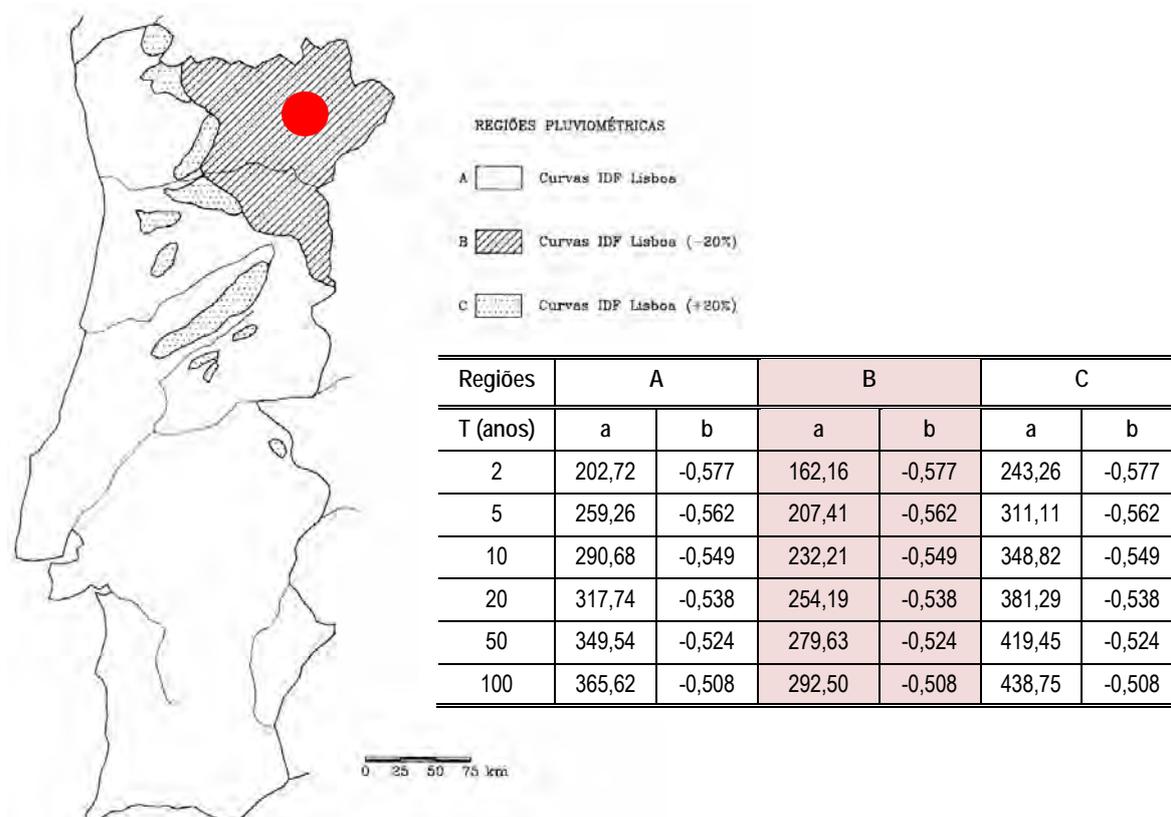


Figura 2 – Regiões pluviométricas e parâmetros a e b das curvas IDF (Matos, 1987).

### Coefficiente de escoamento

Na expressão [ 1 ] o coeficiente C engloba vários fatores:

- relação entre o volume de água escoada e a precipitação;
- efeitos de retenção no solo;
- efeitos de regolfo e atraso do escoamento superficial no terreno, linhas de água naturais e coletores.

Que dependem:

- das características físicas e da ocupação da bacia;
- do estado de humidade do solo;
- da duração e distribuição da precipitação antecedente.

Os valores médios do coeficiente C estão apresentados nas Tabelas I e II, consoante o tipo de superfície e de ocupação.

Tabela I – Coeficiente “C” em função da tipologia de superfície (adaptado de Concrete Pipe Handbook 1958).

Tipo de Superfície	Coeficiente
Valores a utilizar na drenagem de aeroportos	0,75 - 0,95
Coberturas impermeabilizadas de edificações	0,75 - 0,95
Pavimento asfáltico	0,80 - 0,95
Pavimento em betão	0,70 - 0,90
Pavimento em gravilha de macadame	0,35 - 0,75
Solo impermeável	0,40 - 0,60
Solo impermeável, relvado	0,30 - 0,55
Solo pouco permeável	0,15 - 0,40
Solo pouco permeável, relvado	0,10 - 0,30
Solo moderadamente permeável	0,05 - 0,20
Solo moderadamente permeável, relvado	0,00 - 0,10
Valores a utilizar na drenagem de áreas urbanas	0,70 - 0,90
Coberturas impermeabilizadas de edificações, pavimentos impermeáveis	0,70 - 0,90
Pavimentos de calçada	0,50 - 0,70
Pavimentos de macadame	0,25 - 0,60
Pavimentos de gravilha	0,15 - 0,30
Parques	0,05 - 0,30

Tabela II – Valores médios do coeficiente “C” para utilização na fórmula racional (Manual nº 37, ASCE).

Tipologia de ocupação	Coeficiente
Comercial	
no centro da cidade	0,70 - 0,95
nos arredores	0,50 - 0,70
Residencial	
habitações unifamiliares	0,30 - 0,50
prédios isolados	0,40 - 0,60
prédios geminados	0,60 - 0,70
suburbano	0,25 - 0,40
Industrial	

Tipologia de ocupação	Coefficiente
pouco denso	0,50 - 0,80
muito denso	0,60 - 0,90
Parques e cemitérios	0,10 - 0,25
Campos de jogos	0,20 - 0,40
Pavimento	
asfáltico	0,70 - 0,95
betão	0,80 - 0,95
Passeios para peões	0,85
Coberturas (telhados)	0,75 - 0,95
Relvado sobre solo permeável	
plano < 2%	0,05 - 0,10
médio, 2% a 7%	0,10 - 0,15
inclinado > 7%	0,15 - 0,20
Relvado sobre solo impermeável	
plano < 2%	0,13 - 0,17
médio, 2% a 7%	0,18 - 0,22
inclinado > 7%	0,25 - 0,35

No caso presente temos uma ocupação variada, com predominância do solo pouco permeável, com coberto vegetal, tendo-se adotado um valor de referência de 0,10.

### Tempo de concentração

O tempo de concentração,  $t_c$ , de uma bacia hidrográfica, numa dada secção de um curso de água, é o tempo para que a totalidade da bacia contribua para o escoamento superficial na secção considerada. Pode também ser definido como o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia atinja a secção considerada.

Segundo Lencastre e Franco (1992), o tempo de concentração é considerado uma característica constante da bacia, sendo independente das características das chuvadas. O tempo de concentração é aplicado na determinação do caudal de ponta de cheia quando se utilizam expressões cinemáticas, que entram em linha de conta com as características do movimento da água na bacia hidrográfica.

Para calcular o tempo de concentração, em minutos, recorreu-se às expressões propostas por Temez [3], Ventura [4], Picking [5] ou Kirpich [6], frequentemente utilizadas nos projetos de drenagem.

#### I. Temez (1978)

$$t_c = 0,3 \times \left( \frac{L_b}{i_m^{0,25}} \right)^{0,76} \quad [3]$$

Sendo:

- $t_c$  - Tempo de concentração (h);
- $i_m$  - Declive médio (m/m);
- $L_b$  - Comprimento da bacia (km).

## II. Ventura

$$t_c = 240 \times \left( \frac{A_b \times L_b}{\Delta h} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [4]$$

Sendo:

- $t_c$  - Tempo de concentração (min), com  $t_c \geq 5$  min;
- $A_b$  - Área da bacia (km<sup>2</sup>);
- $\Delta h$  - Diferença de cota entre as extremidades da bacia (m);
- $L_b$  - Comprimento da bacia (km).

## III. Picking

$$t_c = 5,3 \times \left[ \frac{L^2}{i} \right]^{0.333} \quad [5]$$

Sendo:

- $t_c$  - Tempo de concentração (min);
- $i$  - Declive médio (m/m);
- $L$  - Comprimento do da bacia (km).

## IV. Kirpich

$$t_c = 0,39 \times \left[ \frac{L^2}{i} \right]^{0.385} \times 60 \quad [6]$$

Sendo:

- $t_c$  - Tempo de concentração (min);
- $L$  - Comprimento da bacia (km);
- $i$  - Declive (em %).

Pela aplicação destas expressões numéricas foram obtidos os valores apresentados na Tabela III.

Tabela III – Cálculo do caudal de ponta de cheia

Método	Temez	Ventura	Picking	Kirpich	Valor adotado (*)
t <sub>c</sub> (min)	103	452	94.7	113.3	283

(\*) O valor adotado resulta da média aritmética com a exclusão dos dois valores mais baixos.

Com o tempo de concentração temos toda a informação para a aplicação da expressão utilizada no método racional [ 1 ]. Os valores obtidos, utilizando períodos de retorno de 2, 10, 50 e 100 anos são apresentados na Tabela IV.

Tabela IV – Períodos de retorno para 2, 10, 50 e 100 anos.

Bacia	t <sub>c</sub> (min)	I (mm/h)				C	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)			
		2 anos	10 anos	50 anos	100 anos		2 anos	10 anos	50 anos	100 anos
Ribeira dos Carvalhais	283	6,254	10,488	14,543	16,649	0,10	18,115	30,380	42,126	48,228

Em que: t<sub>c</sub> – tempo de concentração; I – intensidade da precipitação; C – coeficiente de escoamento; Q<sub>p</sub> – caudal de ponta.

## 2.3 Verificação do Dimensionamento da Passagem Hidráulica

A atual passagem é constituída por quatro condutas, em manilhas de betão, com diâmetro de 800mm, cuja representação gráfica se apresenta na Figura 3.

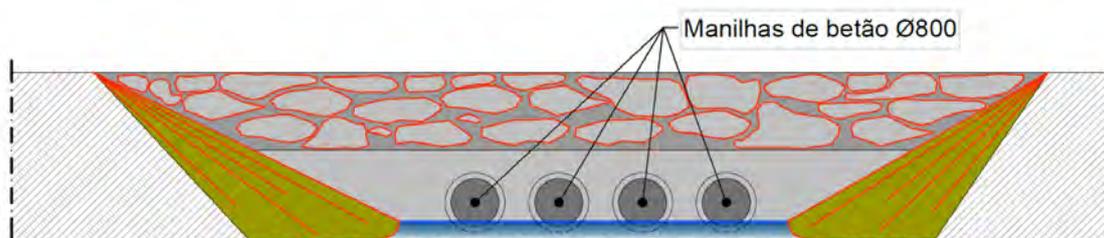


Figura 3 – Esquema da atual passagem hidráulica.

Após o cálculo do caudal de ponta de cheia resta avaliar a secção da passagem hidráulica, o que pode ser efetuado através da equação de Manning [ 7 ]:

$$Q = \left\{ \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times i^{1/2} \right\} \times A \quad \text{em que} \quad R_h = \frac{A}{P} \quad [ 7 ]$$

Sendo:

- Q - Caudal de dimensionamento (m<sup>3</sup>/s);
- n - Coeficiente de Manning (m<sup>1/3</sup>/s);
- A - Área da secção transversão (m<sup>2</sup>);
- P - Perímetro da secção transversal (m);

i - Declive de rasto (m/m).

Para o presente cálculo importa definir o valor de n, face às características da tubagem (ver Tabela V), tendo, no caso presente, sido utilizado o valor de 0,0130.

Tabela V - Valores de n da fórmula de Manning-Strickler (Lencastre, 1991).

Características do material	n (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )
Paredes muito lisas em: argamassa de cimento e areia muito lisa; Tábuas aplainadas; chapa metálica sem soldadura saliente,	0,0100 a 0,0110
Argamassa alisada	0,0110
Paredes lisas em: reboco ordinário, tábuas com juntas mal cuidadas, grés	0,0125
Paredes lisas em: betão liso, canais de betão com juntas frequentes, asfalto liso	0,0130
Paredes lisas em: alvenaria ordinária, terra muitíssimo regular	0,0140
Paredes rugosas: terra irregular, betão áspero ou velho, alvenaria velha ou mal acabada, asfalto rugoso	0,0167
Paredes muito rugosas: terra irregular com ervas, rios regulares em leito rochoso	0,0200
Paredes muito rugosas: terra em más condições, rios em leito de calhaus	0,0140
Paredes muito rugosas: terra em completo abandono, torrentes com transporte de grandes blocos	0,0500 a 0,0667
Tubos corrugados de polietileno	0,025
Tubo de ferro fundido revestido sem revestimento	0,013
Tubo de ferro fundido revestido com revestimento	0,012

A solução da equação de Manning, para os presentes pressupostos, é apresentada no Anexo I. Na Tabela VI apresenta-se um resumo da solução obtida.

Tabela VI - Solução da equação de Manning-Strickler para as atuais condições.

Área	Diâmetro	Material	Velocidade	Caudal total
Bacia hidrográfica	4 x Ø 800 mm	Betão	5,03 m/s	4 x 2 463,77 l/s

O valor obtido para a passagem hidráulica - 9,84 m<sup>3</sup>/s – é claramente inferior ao caudal de ponta de cheia, mesmo para o menor tempo de retorno, pelo que em períodos de forte pluviosidade é possível ocorrer o seu galgamento.

Apesar desta possibilidade, o impacte resultante do galgamento da passagem hidráulica, com a conseqüente inundação dos terrenos marginais é pouco significativo, tendo em conta a utilização da PH e a atual ocupação dos terrenos marginais.

### 3. SOLUÇÃO ALTERNATIVA

Face os resultados obtidos, torna-se claro que a PH não tem capacidade de gerir os caudais de ponta de cheia, que possam ocorrer, mesmo considerando os períodos de retorno mais baixos (2 anos).

O eventual aumento do atual número de coletores que integram atualmente a PH (4 x Ø 800 mm), face à diferença que nos separa entre a atual capacidade de vazão - 9,84 m<sup>3</sup>/s – e o valor necessário para cumprir o critério de dimensionamento do período de retorno de 2 anos: 18,11 m<sup>3</sup>/s, não se perspetiva como uma eventual solução.

Em alternativa avaliou-se o recurso a uma seção retangular de 3,0 m x 1,5 m, mais um vez recorrendo à equação de Manning [ 7 ], tendo-se obtido a solução apresentada no Anexo II e cujos valores se apresentam na Tabela VII.

Tabela VII– Solução da equação de Manning-Strickler para uma PH de secção retangular.

Área	Seção	Material	Velocidade	Caudal total
Bacia hidrográfica	3,0 m x 1, 5 m	Betão	11 m/s	49 492 l/s

Esta solução permite um caudal de cheia de cerca de 49,5 m<sup>3</sup>/s, valor superior ao caudal de máxima cheia para um período de retorno de 100 anos (48,23 m<sup>3</sup>/s).

Face ao exposto, propõe-se a substituição da atual PH, constituída por 4 condutas em manilhas de betão de Ø 800 mm por uma *box-culvert* (ver Figura 4) de seção interna de 3,0 m x 1,5 m.



Figura 4 – Exemplo de *box-culvert* a utilizar na alteração da passagem hidráulica.

Assim, os procedimentos a adotar passam pelo desmantelamento da atual passagem hidráulica e, no mesmo local, da instalação de uma nova passagem hidráulica com as características atrás referidas. Este

procedimento impedirá a travessia da Ribeira dos Carvalhais, durante o período de tempo necessário para a substituição da passagem hidráulica.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em face do exposto, como considerações finais, deve ser registado o seguinte:

- i) Nas atuais condições, a passagem hidráulica existente não oferece condições para o escoamento eficaz de caudais de ponta, mesmo para períodos de precipitação moderados;
- ii) A configuração atual, seccionada em quatro porções, sempre que a Ribeira dos Carvalhais transporte materiais de maiores dimensões (ramos de árvores por exemplo), estes poderão obstruir a passagem de forma fácil e eficaz, impedindo o seu regular escoamento;
- iii) O galgamento da ribeira, a montante da passagem hidráulica, mesmo não causando impactes significativos, uma vez que a ocupação da superfície por atividades humanas é dispersa e de pouca relevância, pode mesmo assim criar problemas de acentuada erosão das margens e arrastamento de finos para o leito da ribeira;
- iv) Assim, embora a passagem hidráulica existente possa cumprir as funções mínimas para as quais foi criada, deve ser equacionada uma solução alternativa;
- v) A solução alternativa, com capacidade para resolver caudais de ponta, mesmo para um período de retorno de 100 anos, poderia passar por uma reconfiguração da atual passagem, passando das quatro manilhas de betão ( $\varnothing$  0,800 m x 4 corresponde a uma secção de vazão de 2,01 m<sup>2</sup>) para uma passagem de secção retangular (1,5 m x 3,0 m o que corresponde a uma secção de vazão de 4,5 m<sup>2</sup>), o que permitirá aumentar a secção de passagem em cerca de 125%, com a vantagem de ser em secção única e não repartida;
- vi) A solução anterior permitiria resolver os problemas apresentados, sendo uma solução duradoura e de fácil implementação.

Vila Nova de Gaia, 22 de outubro de 2020



**CONGEO**

consultores de geologia, lda

2008030

Avaliação de Passagem Hidráulica sobre a Ribeira dos Carvalhais

Cortiços, Macedo de cavaleiros

NORDAREIAS

---

**ANEXOS**

**CONGEO**

consultores de geologia, lda

2008030

Avaliação de Passagem Hidráulica sobre a Ribeira dos Carvalhais

Cortiços, Macedo de cavaleiros

NORDAREIAS

---

**ANEXO I**

---

**MANNING – MANILHA 800**



<b>Cálculo:</b>	Equação de Manning - Fluxo em tubagem circular	
<b>Projeto:</b>	NORDAREIAS (Passagem Hidráulica)	
<b>Folha número:</b>	1	<b>Data:</b> Agosto 2020

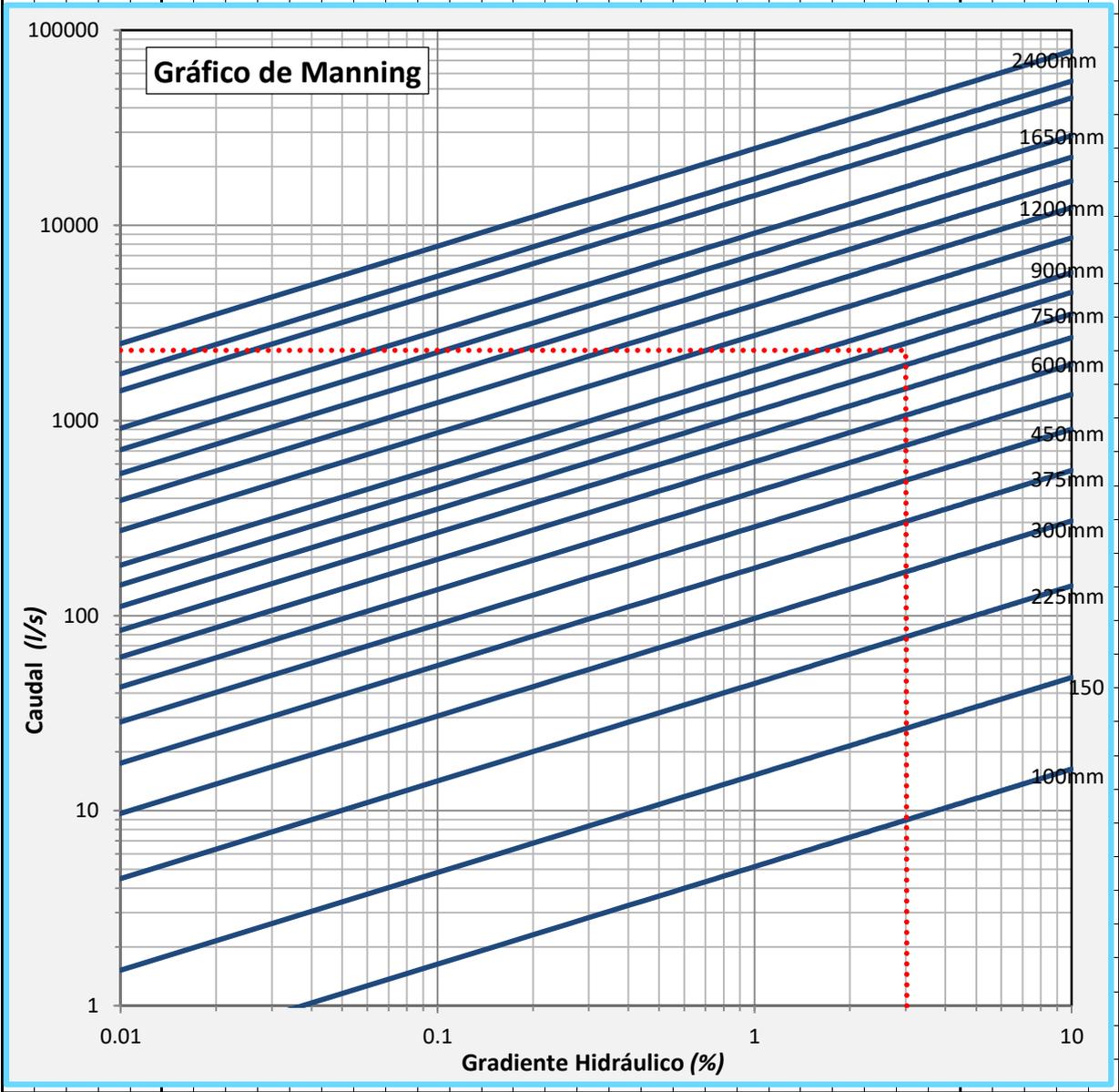
Características do tubo	
Coefficiente Manning ( <i>n</i> )	0.013
Gradiente Hidráulico ( <i>s</i> )	3 %
Diâmetro Interno ( <i>D</i> )	0.8 m

= 0.03 m/m  
ou 1 em 33.3

$$Q = \left\{ \frac{1}{n} \times \left( \frac{A}{P} \right)^{2/3} \times S^{1/2} \right\} A$$

Resultados com tubo cheio:	
Velocidade ( <i>v</i> )	4.56 m/s
Caudal ( <i>Q</i> )	2290.38 l/s

= 2.29 m³/s



<b>CONGEO</b> consultores de geología, lda	<b>Cálculo:</b>	Equação de Manning - Fluxo em tubagem circular	
	<b>Projeto:</b>	NORDAREIAS (Passagem Hidráulica)	
	<b>Folha número:</b>	2	<b>Data:</b> Agosto 2020

**Resultados com tubo parcialmente cheio:**

Velocidade max a 81.4% altura:

Vmax **5.19** m/s

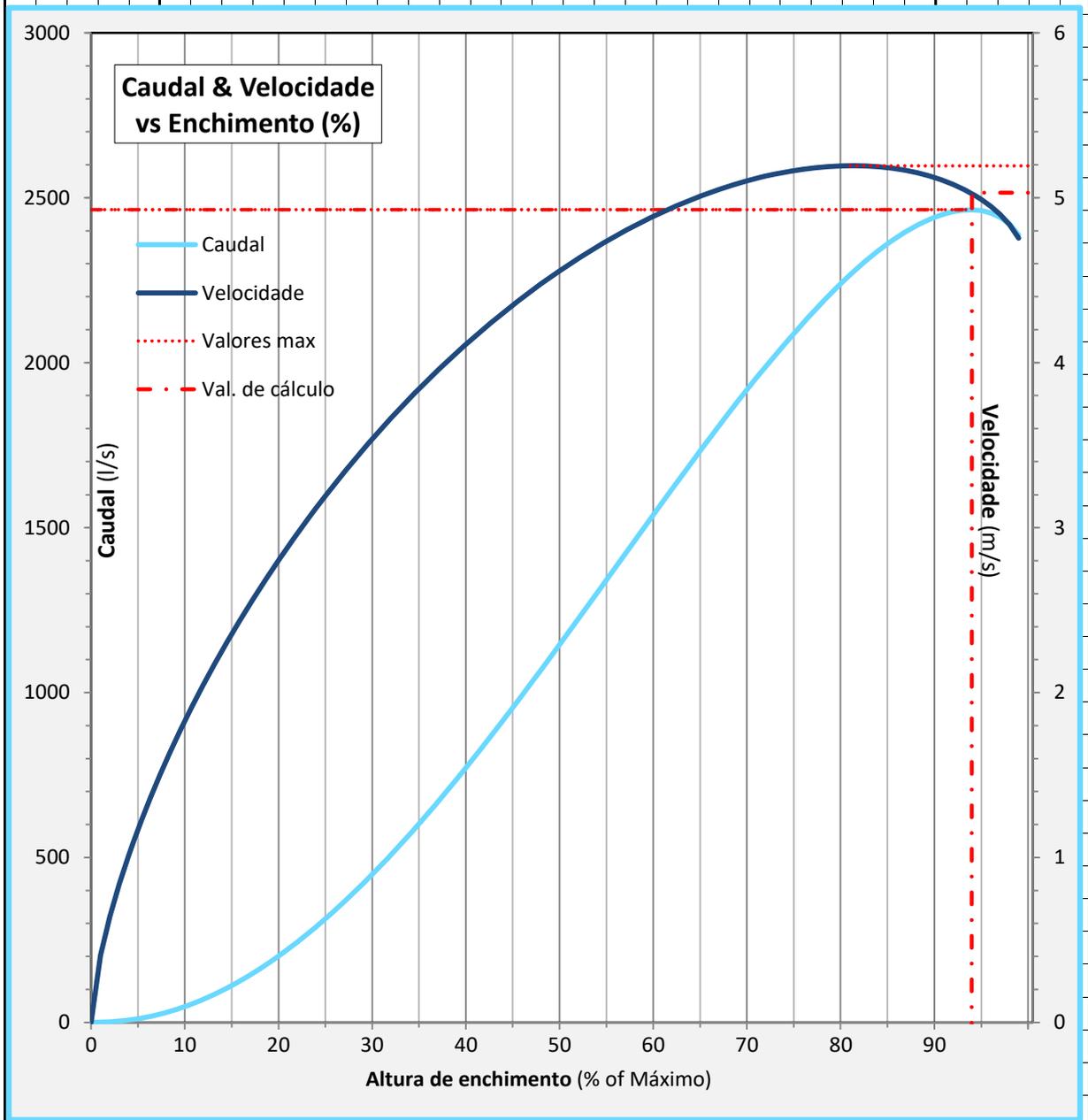
Caudal max a 93.8% altura

Qmax **2 463.77** l/s = 2.46 m<sup>3</sup>/s

Altura enchimento: **93.8**% = 0.750 m

Velocidade (v) **5.03** m/s

Caudal (Q) **2 463.77** l/s = 2.46 m<sup>3</sup>/s



**CONGEO**

consultores de geologia, lda

2008030

Avaliação de Passagem Hidráulica sobre a Ribeira dos Carvalhais

Cortiços, Macedo de cavaleiros

NORDAREIAS

---

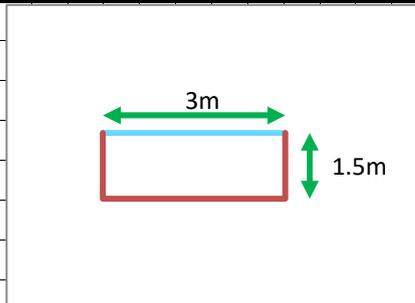
**ANEXO II**

---

**MANNING – SECÇÃO RETANGULAR**

Forma do canal Rectangular

Dimensões	
Largura (W)	3 m
Altura (D)	1.5 m



Gradiente hidráulico (S)	3 %
Coefficiente de Manning (n)	0.013

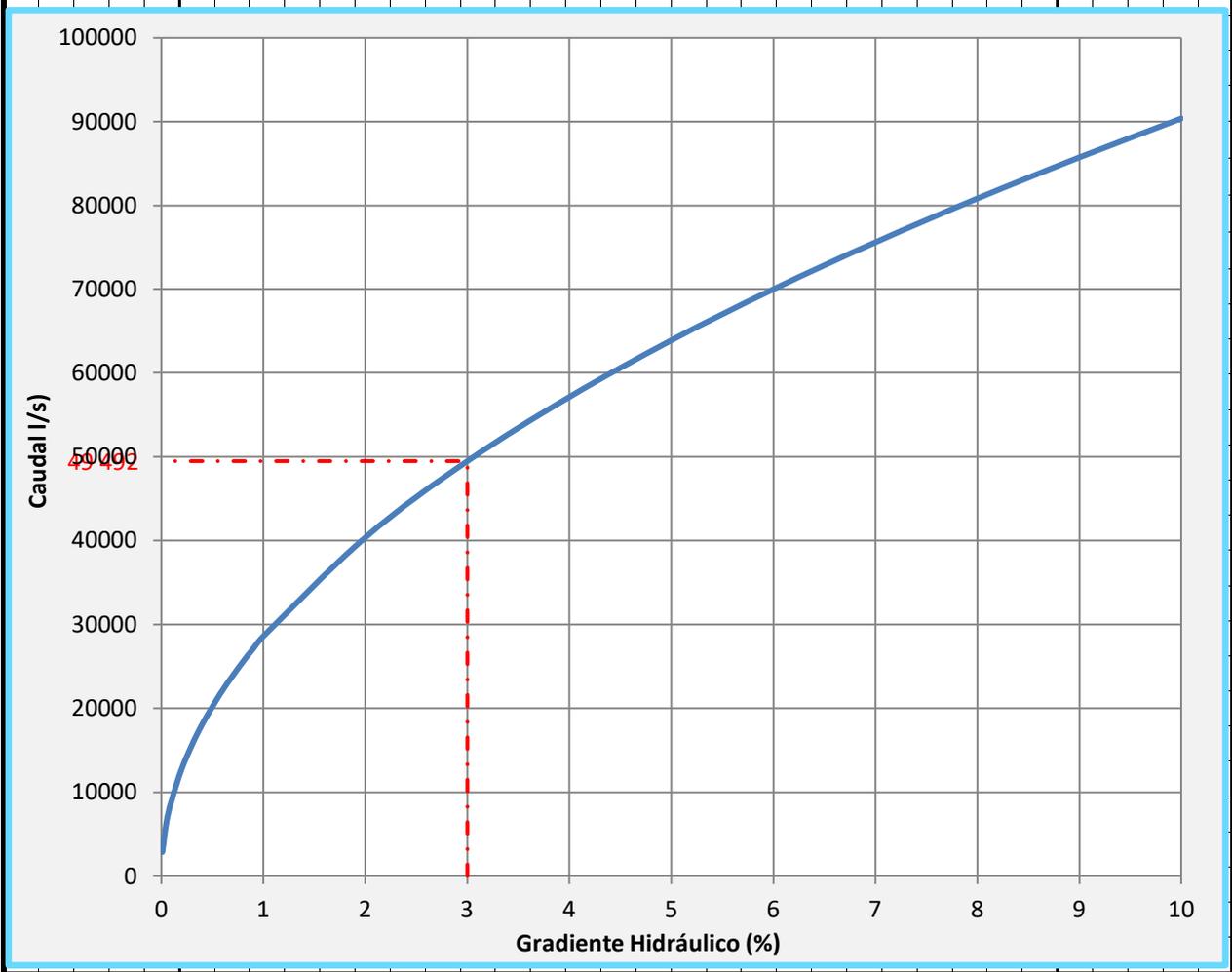
= 0.03 m/m  
ou 1 em 33.3

$$Q = \left\{ \frac{1}{n} \times \left( \frac{A}{P} \right)^{2/3} \times S^{1/2} \right\} A$$

**Resultados**

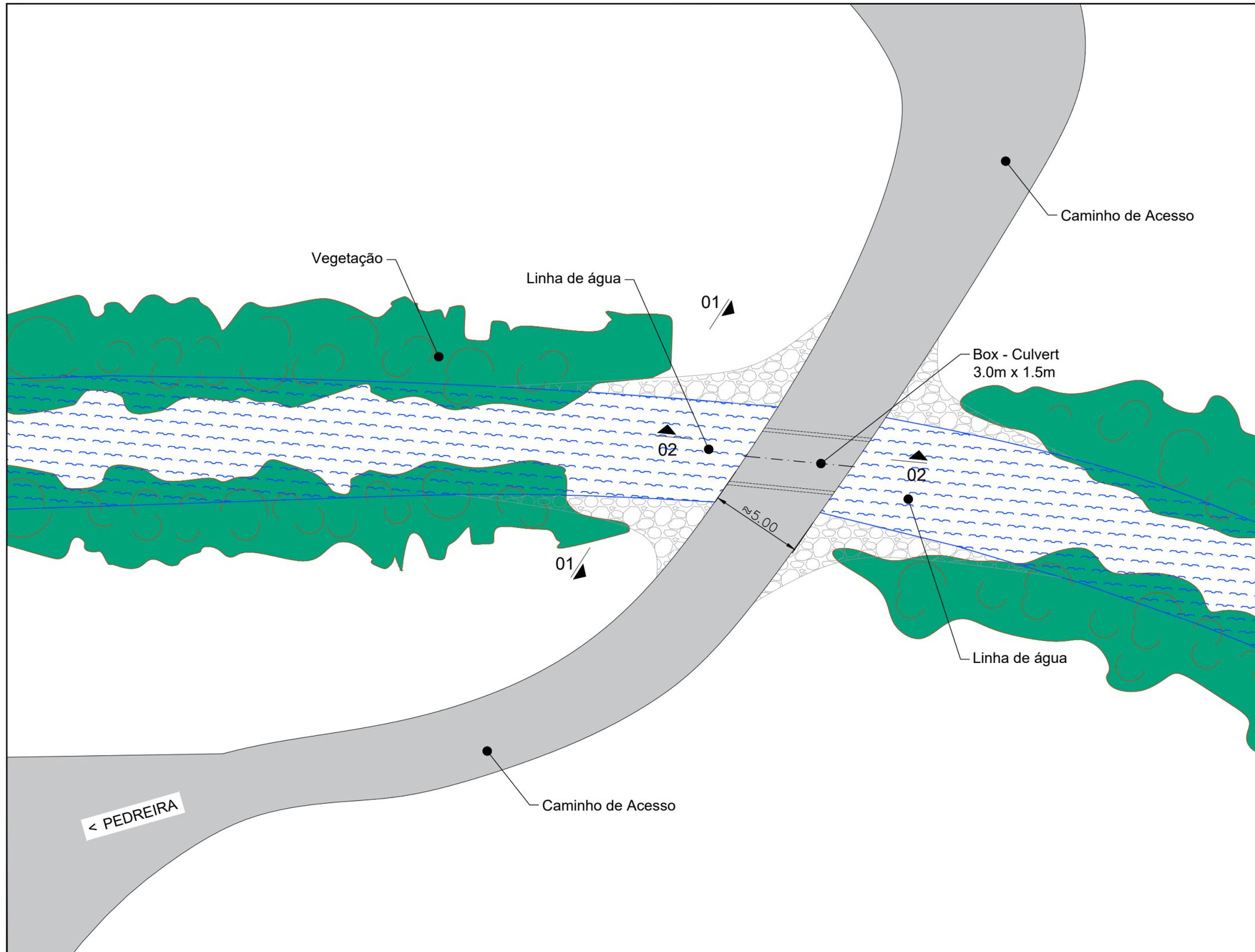
Velocidade (v)	<u>11.00</u> m/s
Caudal (Q)	<u>49 492</u> l/s

= 49.5 m³/s



---

**ANEXO III**  
**PROPOSTA DE SOLUÇÃO ALTERNATIVA**



Obra/Local: Passagem Hidráulica  
Cortiços - Macedo de Cavaleiros

Escala: 1:200

Cliente: NORDAREIAS - Areias e Britas do Nordeste, Lda.

Nº

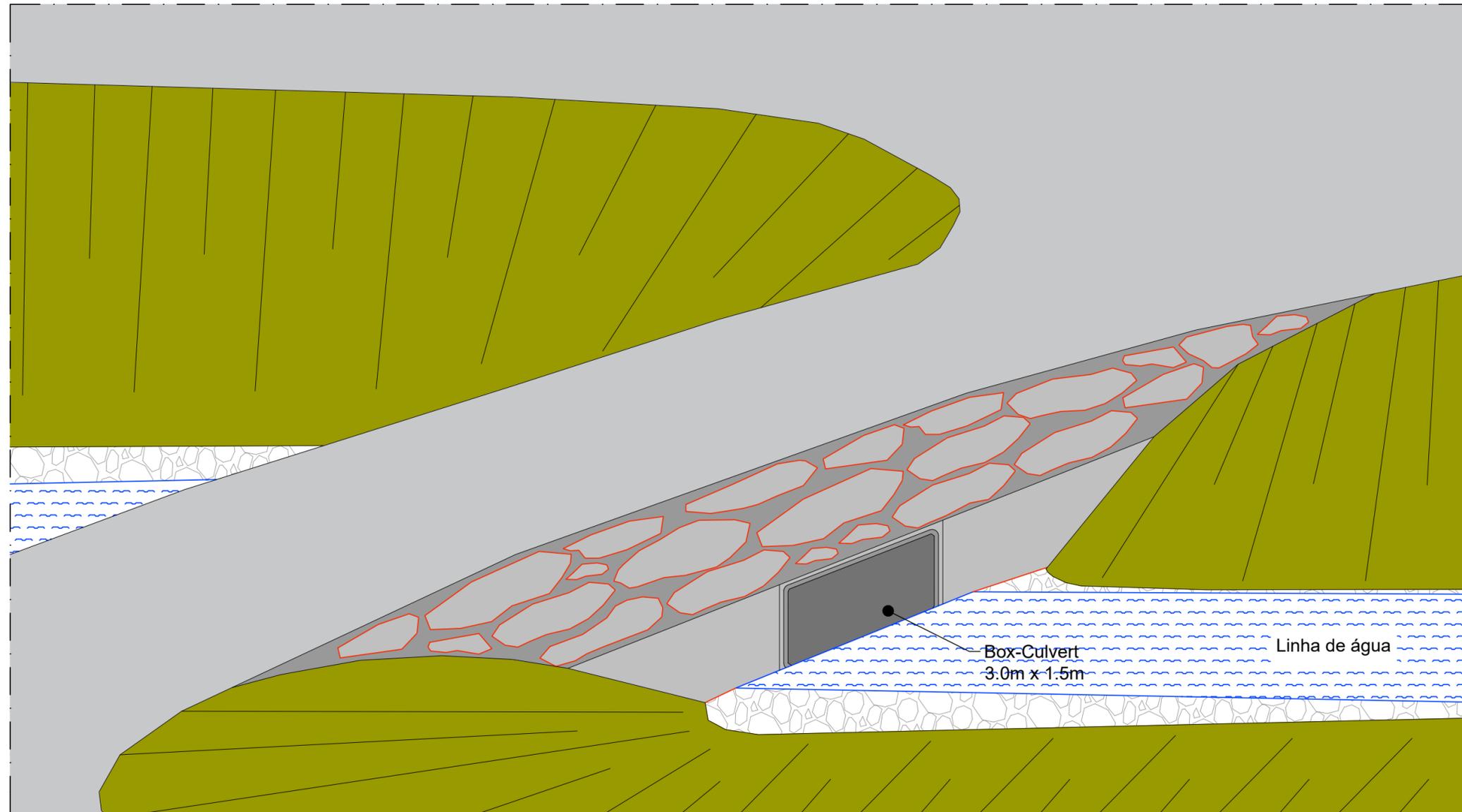
Desenho: Planta de Localização

Ref./Proc.

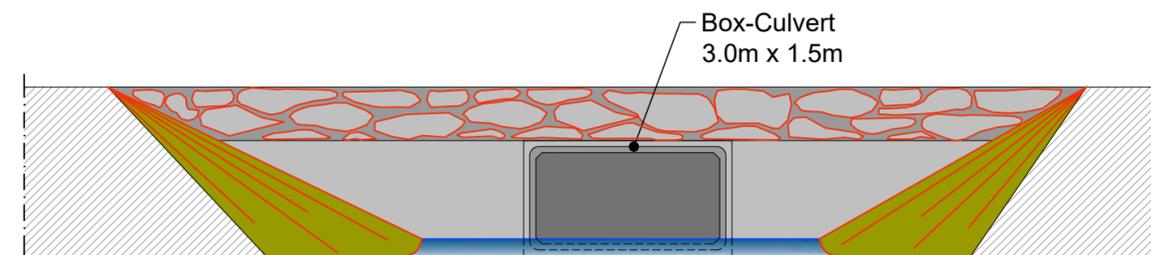
Data: Out. 2020

1/2

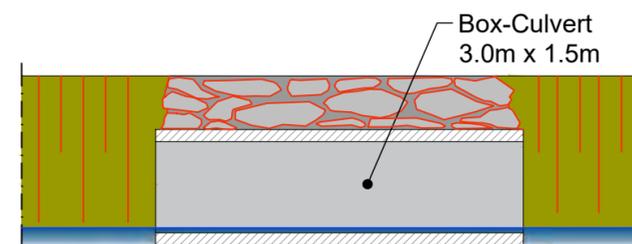
PERSPETIVA 01  
S/ Esc.



CORTE 01-01  
Esc. 1:100



CORTE 02-02  
Esc. 1:100



**CONGEO**  
consultores de geologia, lda

Obra/Local:	Pssagem Hidráulica Cortiços - Macedo de Cavaleiros	Escala:	1:100
Cliente:	NORDAREIAS - Areias e Britas do Nordeste, Lda.		Nº
Desenho:	Perspetiva e Cortes 01-01 e 02-02	Ref./Proc.	Data:
			Out. 2020