

MEMORIAL DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE PASSAGEM VIÁRIA

Dispositivo: Bueiro simples tubular concreto (BSTC)

Aterro: sim

I - INTRODUÇÃO

1. Parâmetros de dimensionamento do BSTC

Segundo o Manual de Drenagem Rodoviária do DNIT (2006), os bueiros tubulares devem ser dimensionados de acordo com as vazões críticas às quais estes devam suportar; e tal procedimento pode ser realizado pela seguinte equação:

$$Q_c = A_c \sqrt{g \times h_c}$$

Sendo:

Q_c a vazão crítica em m^3/s ;

A_c a área molhada que atenderá à vazão crítica em m^2 ;

g é a aceleração da gravidade ($\approx 9,81 m/s^2$); e

h_c é a profundidade observada no escoamento de Q_c em m.

A área crítica de escoamento é definida pela seguinte equação:

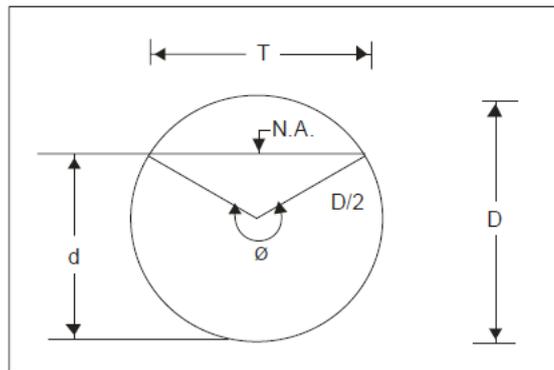
$$A_c = \frac{\phi_c - \text{sen}\phi_c}{8} \times D^2$$

Onde:

ϕ_c é um ângulo interno em função da área molhada em radianos;

D é o diâmetro nominal da tubulação em m.

Ângulo ϕ



d representa a profundidade de escoamento da água, em metros e geralmente para fins de dimensionamento de bueiros utiliza-se o valor de 80% de D;

$$d = 0,8.D$$

O ângulo ϕ é assim calculado:

$$\cos \frac{\phi}{2} = 1 - \frac{2d}{D}$$

O Manual de Drenagem (DNIT, 2006) recomenda ainda que a declividade de instalação do bueiro (gradiente hidráulico) seja dimensionado de acordo com a equação de Chezy:

$$I = \frac{V^2 \times n^2}{R^{4/3}}$$

Sendo:

I a declividade em % - para o DER-SP (2006) a declividade mínima de instalação deverá ser de 0,4% ;

V é a velocidade de escoamento da água em m/s (segundo o DER-SP, 2006, esta velocidade não poderá ser superior a 4,0 m/s e nem inferior a 1,0 m/s, para se evitar acúmulo de detritos no bueiro);

n é a rugosidade do material do bueiro (n = 0,014 para concreto novo);

R é o raio hidráulico em função do perímetro e da área molhada em m.

2. Vazão de projeto

A vazão de projeto é a vazão máxima (crítica) que poderá ocorrer na área de contribuição (bacia de contribuição) à montante do ponto de instalação do bueiro. Desta maneira, a vazão de projeto não poderá ser superior à vazão crítica para a qual o bueiro é dimensionado.

Existem diversas maneiras de estimar uma vazão de projeto. Em geral, bacias hidrográficas de menor importância econômica não possuem monitoramento hidrométrico, o que obriga o projetista a realizar estimativas indiretas de vazão máxima de projeto.

De acordo com o Manual de Outorga do Estado de Minas Gerais (SCHVARTZMAN, 2010) o método a ser utilizado na obtenção da vazão de projeto corresponderá à área de contribuição (km^2) da bacia à montante do ponto aonde se instalará a obra hidráulica:

Travessia rodo-ferroviária*	
< 5 km^2	Método racional
5 a 100 km^2	Hidrograma unitário
> 100 km^2	Métodos estatísticos

A vazão máxima de projeto, quando obtida por metodologia estatística em bacias onde não exista o monitoramento poderá ser realizada correlacionando-se as áreas de drenagem de duas bacias hidrográficas, desde que, a relação entre estas não seja superior a 20.

Em relação ao tempo de recorrência (TR) a ser adotado para fins de dimensionamento de obras hidráulicas, COLLISCHONN (2008) recomenda os seguintes:

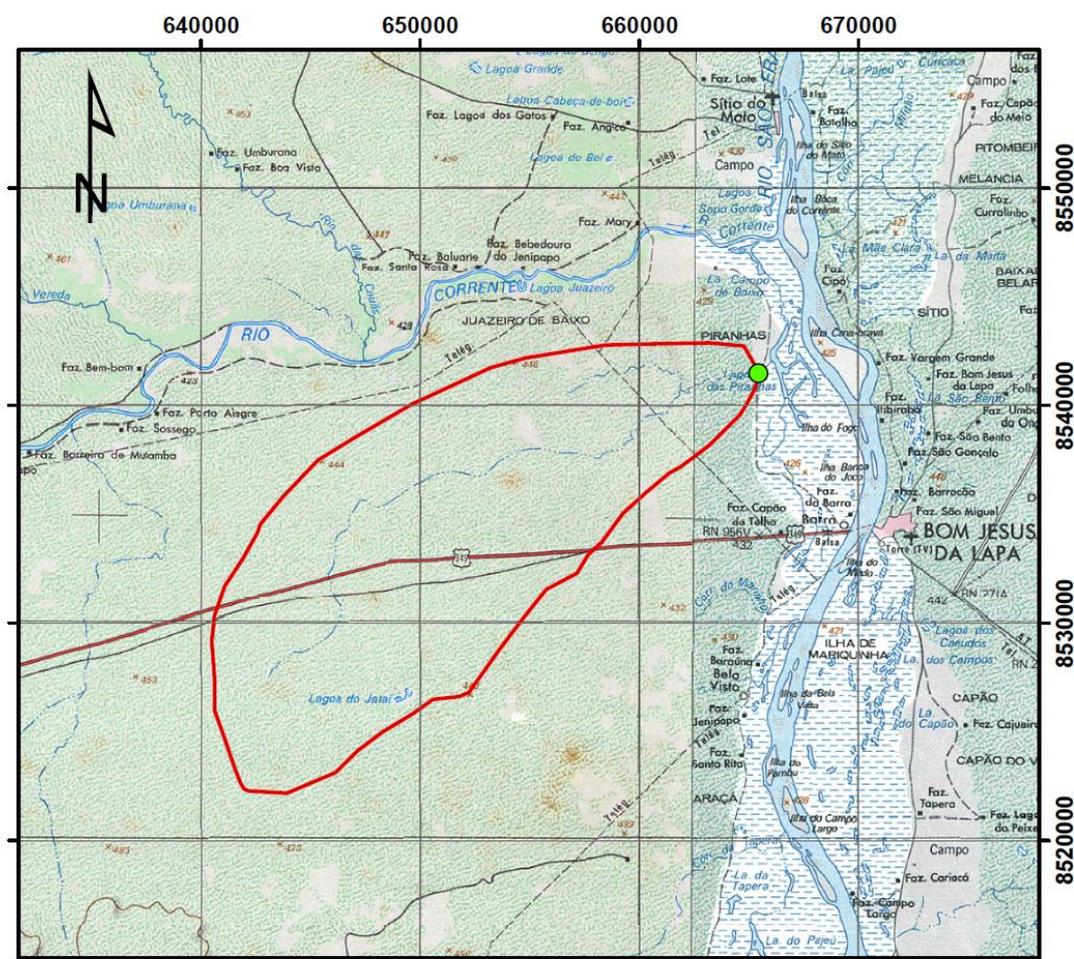
Estrutura	TR (anos)
Bueiros de estradas pouco movimentadas	5 a 10
Bueiros de estradas muito movimentadas	50 a 100
Pontes	50 a 100
Diques de proteção de cidades	50 a 200
Drenagem pluvial	2 a 10
Grandes barragens (vertedor)	10000
Pequenas barragens	100
Micro-drenagem de área residencial	2
Micro-drenagem de área comercial	5

De acordo com a tabela acima é possível verificar que o tempo de recorrência de 10 (dez) anos é possivelmente aplicável na situação analisada em questão.

II – CÁLCULOS

1. Bacia de contribuição

Pretende-se instalar um bueiro (BSTC) em um trecho da Bacia do Riacho das Cacimbas, que é afluente da Lagoa das Piranhas à montante do cruzamento com a estrada vicinal. A seguir é apresentado um mapa temático indicando a delimitação desta bacia de contribuição:



Escala – 1 : 325.000 / Datum: SAD-1969 / Unidade: metros

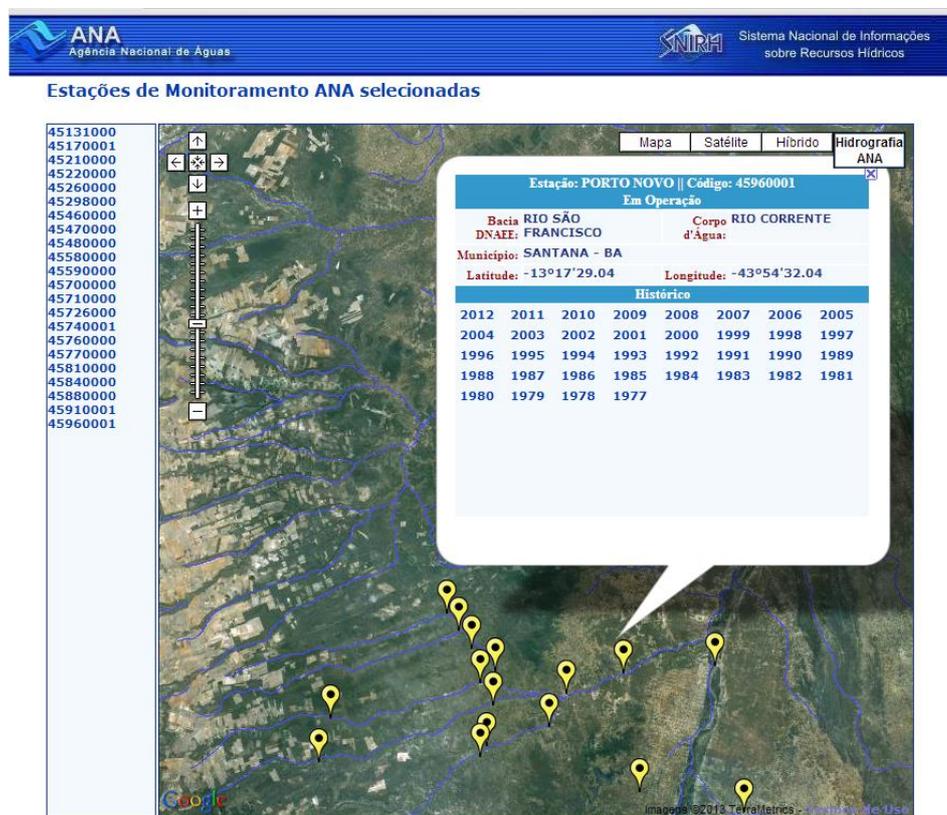
Para sua delimitação foram empregadas as cartas topográficas Santa Maria da Vitória e Bom Jesus da Lapa, com os códigos cartográficos SE-23-X-C e SE-23-X-D, respectivamente. O processo foi desenvolvido através do software ArcGIS 9.3 e após o georreferenciamento digital das cartas topográficas, o resultado indicou uma área de contribuição de **264,4 km²**. Além das cartas foram empregadas curvas de nível (90 X 90 metros) com as cotas topográficas geradas pelo modelo digital do radar SRTM, da NASA, para inferência quanto ao divisor de águas.

2. Vazão de projeto

Dada a dimensão da bacia de contribuição do Riacho das Cacimbas, no local de instalação do bueiro, será utilizada a metodologia estatística com o recurso de correlação entre áreas de drenagem.

O tempo de recorrência a ser empregado será de 10 (dez) anos.

A Estação Fluviométrica selecionada para a realização da modelagem estatística dos dados fluviométricos é a estação “Porto Novo”, código 45960001, instalada no Rio Corrente e distante cerca de 15 km do ponto de interesse na Bacia do Riacho das Cacimbas. Esta estação possui significativa série de dados diários de vazão de forma ininterrupta (sem falhas). A seguir é apresentada uma tela do Portal SNIRH/Hidroweb da ANA (Agência Nacional de Águas), onde se observa os dados de vazão e os anos de disponibilidade destes.



A área de drenagem à montante da estação fluviométrica Porto Novo é de **31.156 km²** segundo o Portal SNIRH da ANA. O que denota uma relação entre as áreas de drenagem da estação fluviométrica e daquela de interesse no Riacho das Cacimbas da ordem de **117,8**.

Na sequência foram “baixados” dados de vazão diária e medidos na estação Porto Novo, desde o ano de outubro de 1978 até setembro de 2006, Totalizando uma série com 29 (vinte e nove) anos de dados. Apesar de existirem dados disponíveis após outubro de 2008, estes não foram utilizados por se tratarem de dados brutos, não havendo análise de consistência por parte dos seus fornecedores.

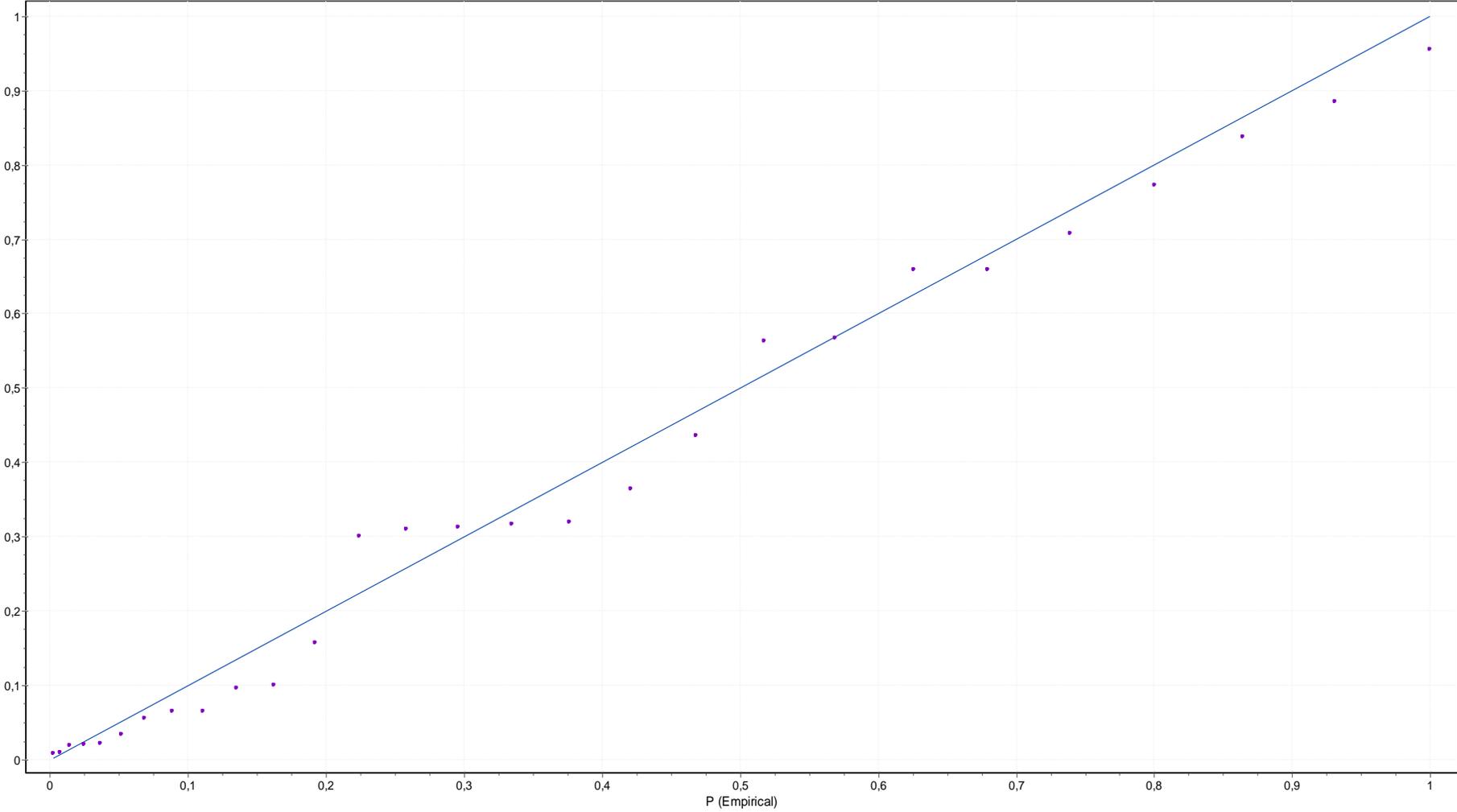
Foram extraídos os valores máximos medidos em cada um dos anos utilizados e agrupados em ordem decrescente, como demonstrado a seguir:

Data	Vazão máxima (m ³ /s)
15/03/2001	265,13
01/01/1996	272,00
28/03/1984	296,00
30/12/2002	299,08
01/04/2003	300,63
12/05/1998	320,00
01/01/1993	344,00
12/11/1995	352,00
01/01/2006	352,11
16/12/2005	374,20
03/09/1994	377,00
23/01/1982	406,00
30/12/1977	458,00
17/12/2000	461,00
04/01/1997	462,00
23/11/1991	463,00
19/12/1999	464,00
02/05/1983	477,00
04/04/1981	497,00
24/12/1987	531,00
01/01/1990	532,00
31/12/1985	557,00
19/12/1988	557,00
23/01/2004	570,90
03/09/1978	591,00
01/08/1986	614,00
22/02/1980	634,00
22/02/1979	677,00
02/10/1992	816,00

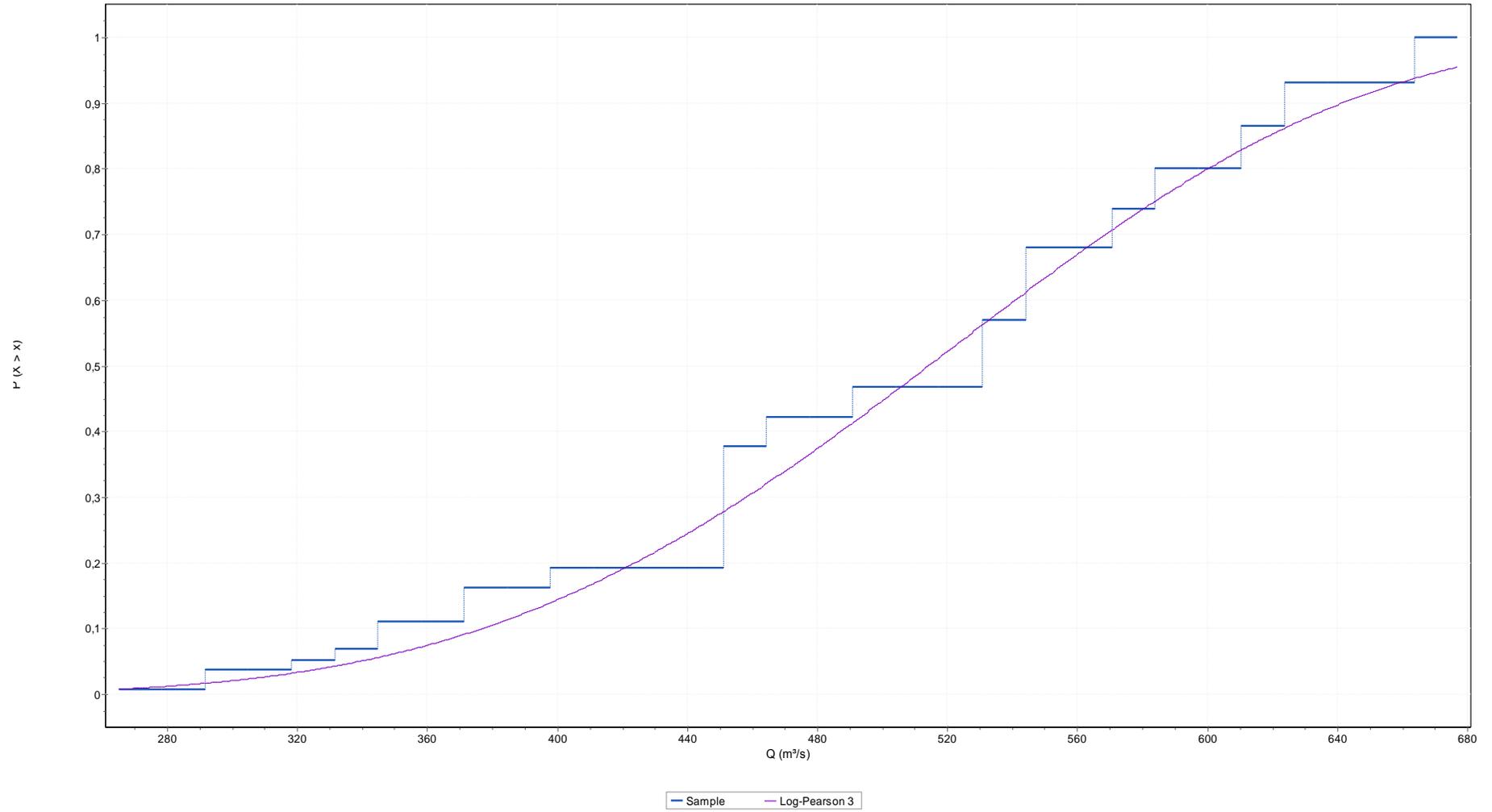
Em seguida, os dados foram lançados em papel de probabilidade, considerando a probabilidade de não excedência. Os resultados indicam um ajuste adequado para as distribuições: Pearson tipo 3, Log Pearson tipo 3, Lognormal 3P e Lognormal 2P .

O melhor ajuste indica que a distribuição Log Pearson tipo 3 se sobressai em relação às demais. Para um tempo de retorno de 10 anos, foi estimada uma vazão máxima da ordem de **640 m³/s**. O gráfico com o ajuste é apresentado a seguir:

P-P Plot



Cumulative Distribution Function



Correlacionando as áreas de drenagem e as declividades médias dos cursos d'água principais (da bacia de interesse no Riacho das Cacimbas pela área à montante da Estação fluviométrica Porto Novo), chegou-se ao resultado de uma vazão máxima de projeto de **3,94 m³/s** para se aplicar no dimensionamento do bueiro, com um tempo de recorrência de **10 anos**. A declividade na Bacia do Riacho das Cacimbas é de 0,0008 m/m e na Baca do Rio Corrente (à montante da Estação Porto Novo) é de 0,0011 m/m.

3. Dimensionamento do Bueiro

O dimensionamento será realizado utilizando-se a equação de Chezy e será utilizado o aplicativo Hidrowin, através do módulo “Estruturas Hidráulicas” (disponível em: www.ehr.ufmg.br) desenvolvido pelos BAPTISTA, COELHO & ALEXANDRE.

A tela a seguir mostram os dados de entrada do aplicativo para início do processo de cálculo:

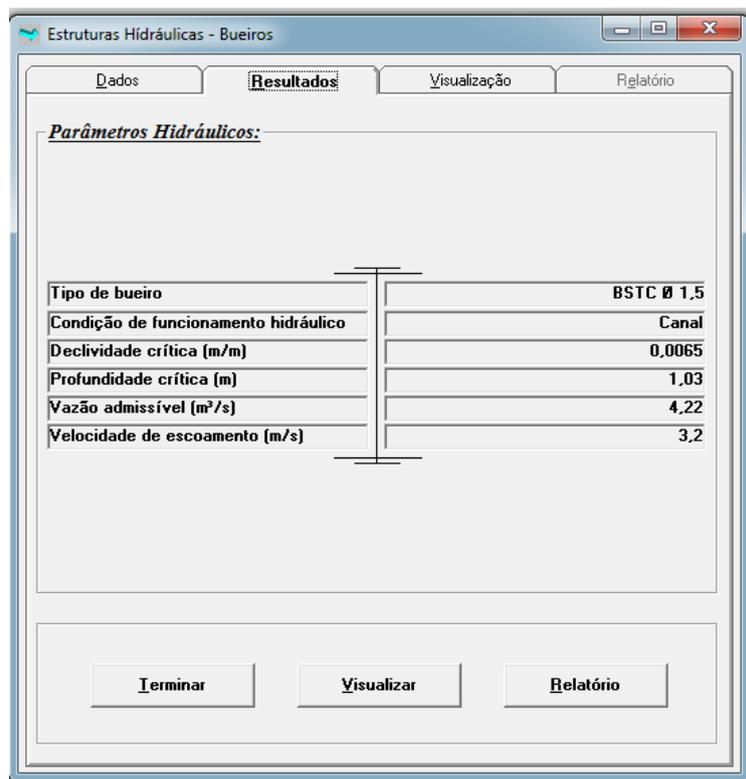
The screenshot shows the 'Dados' (Data) tab of the 'Estruturas Hidráulicas - Bueiros' application. The interface is divided into several sections for inputting parameters:

- Tipo de bueiro:** Radio buttons for Tubular simples (selected), Tubular duplo, Tubular triplo, Celular simples, Celular duplo, and Celular triplo.
- Material:** Radio buttons for Concreto (selected) and Metálico.
- Condição de jusante:** Radio buttons for Ocorre carga hidráulica a jusante? with options Sim and Não (selected).
- Coefficientes de perda de carga na entrada e saída:** Input fields for Tipo (dropdown), Ce, and Cs, each with a help icon.
- Dados necessários:** A table of input fields with the following values:

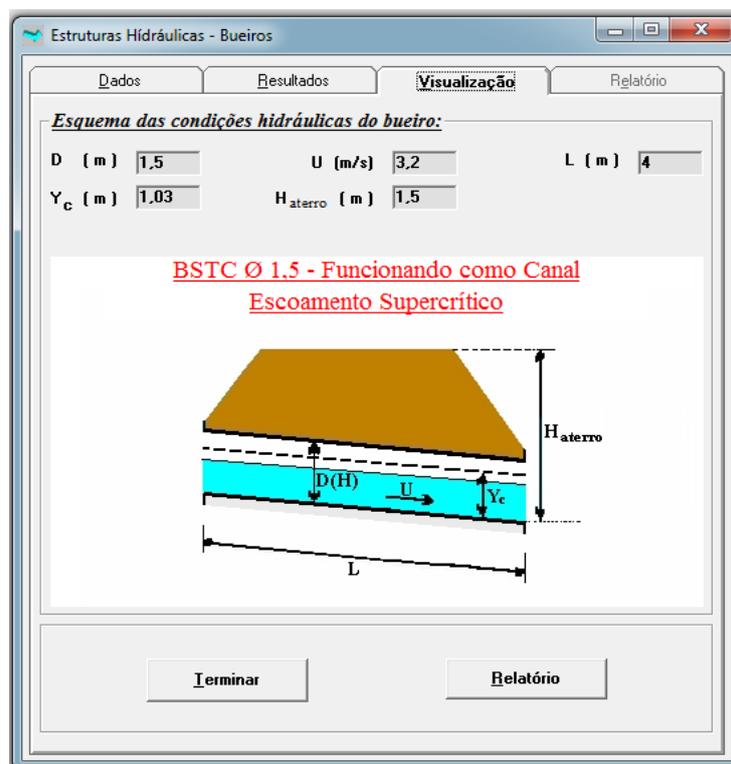
Vazão afluyente (m ³ /s)	3,94
Coefficiente de Manning	0,015
Declividade (m/m)	0,007
Comprimento do bueiro (m)	4
Diâmetro (m)	1,5
Altura do aterro (m)	1,5

At the bottom, there are three buttons: 'Calcular', 'Cancelar', and 'Nova Alternativa'.

A tela a seguir demonstra os resultados provenientes dos cálculos hidráulicos:



A seguir está representada uma tela contendo o esquema de funcionamento do bueiro:



Pela simulação, verifica-se que a instalação de tubulação simples de concreto (BSTC) para os bueiros é suficientemente capaz de suportar a vazão de projeto, e, dentro da velocidade e a declividade aceitável.