

**CENTRO UNIVERSITÁRIO
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO
DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**QPROJETO - FERRAMENTA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO PARA
TRAVESSIAS E CANAIS PELOS MÉTODOS RACIONAL E I-PAI-WU**

ERIVELTON ROBERTO DE GODOY

Presidente Prudente/SP

2019

**QPROJETO - FERRAMENTA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO PARA
TRAVESSIAS E CANAIS PELOS MÉTODOS RACIONAL E I-PAI-WU**

Trabalho de Conclusão apresentado
como requisito parcial de Conclusão
de Curso para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil, sob
orientação do Prof. Dr. Rodrigo
Cezar Criado.

Prof. Dr. Rodrigo Cezar Criado

Prof. Msc. Alonso Droppa Junior

Msc. Murilo Gonçalves Cavalheiro

Presidente Prudente/SP

2019

Veja!
Não diga que a canção está perdida
Tenha fé em Deus
Tenha fé em você
Tenha fé na vida
Tente outra vez!

Raul Seixas

Dedico este trabalho aos meus pais, aos meus amigos, ao DAEE e aqueles que indiretamente fizeram parte dessa aventura maluca que me coloquei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pela força nos momentos difíceis e por não deixar eu desistir dessa empreitada.

Agradeço aos meus amigos que foram pilares importantes na caminhada para a conclusão deste curso.

Agradeço aos meus filhos que mesmo pequenos souberam esperar o pai para coloca-los para dormir.

Agradeço pela oportunidade de conseguir fazer uma nova graduação, pois houveram inúmeros obstáculos durante esses 5 anos e os mesmos foram vencidos!

RESUMO

O presente trabalho resulta na implementação da ferramenta *online* de dimensionamento hidráulico Qprojeto, que possibilita maior agilidade para realização do Estudo Hidrológico e do Dimensionamento de Travessias e Canalizações. A ferramenta utiliza-se dos conceitos hidrológicos e hidráulicos para obtenção do resultado de seus estudos e dimensionamentos através do Método Racional, para bacias hidrográficas de até 2 km² e/ou o Método I-PAI-WU, utilizado para bacias hidrográficas acima de 2 km² à 200 km². O produto oferecido por este trabalho e ferramenta é o memorial de cálculo pelos métodos citados assim como a definição de sua vazão de projeto para os demais dimensionamentos necessários. Também verifica a seção proposta para a construção da obra de arte, Travessias ou Canalizações se estão de acordo com os métodos propostos e com a legislação vigente. A ferramenta encontra-se disponível online pelo endereço eletrônico <http://www.qprojeto.com.br> onde se faz necessário um cadastro prévio de fácil preenchimento para o acesso ao seu conteúdo. A mesma foi desenvolvida na linguagem de programação livre PHP (Personal Home Page), biblioteca CSS Materialize, banco de dados MySQL e JavaScript, a ferramenta está hospedada em servidor particular com a empresa Hostinger.

Palavras-chave: QProjeto; Estudo Hidrológico; Dimensionamento Hidráulico; Travessia; Canalização; Canal.

ABSTRACT

The present work results in the implementation of the Qproject hydraulic sizing on-line tool, which enables greater agility to perform the Hydrological Study and the Design of Crossings and Pipelines. The tool uses hydrological and hydraulic concepts to obtain the results of its studies and sizing through the Rational Method, for watersheds up to 2 km² and / or Method I-PAI-WU, used for watersheds above 2 km². at 200 km². The product offered by this work and tool is the calculation memorial by the adopted methods as well as the definition of its project flow for the other necessary dimensions. Also check the proposed section for the construction of the artwork, Crossings or Channeling if they are in accordance with the proposed methods and current legislation. The tool is available online at <http://www.qprojeto.com.br> where it is necessary a prior registration of easy filling to access its content. It was developed in the free programming language PHP (Personal Home Page), CSS Materialize library, MySQL database and JavaScript, the tool is hosted on a private server with Hostinger company.

Keywords: QProject; Hydrological study; Hydraulic sizing; Crossing; Plumbing; Channel.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS	12
1 INTRODUÇÃO	10
2 INFORMÁTICA	11
3 HIDROLOGIA	11
3.1 Ciclo Hidrológico	12
3.2 Escoamento Superficial	13
4 COMPONENTES DO ESCOAMENTO DOS CURSOS D'ÁGUA	14
4.1 Coeficiente de Deflúvio	15
4.2 Talvegue.....	15
5 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	16
5.1 Nível de Água.....	17
5.2 Bacia Hidrográfica	17
5.3 Vazão.....	18
6 MÉTODO CHUVA X VAZÃO	18
6.1 Metodologias	18
6.3 Delimitação De Bacia Hidrográfica ou Área de Drenagem	19
6.4 Método Racional	20
6.4.1 Tempo de Recorrência ou Período de Retorno.....	22
6.4.2 Coeficiente de escoamento superficial para o Método Racional (Runoff)	22
6.4.3 Vazão de Projeto	22
6.5 MÉTODO I-PAI-WU.....	23
6.5.1 Coeficiente de Escoamento Superficial Adotado para o Método I-PAI-WU.....	23
6.6 Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K)	27
7 OBRAS HIDRÁULICAS.....	28
7.1 CANALIZAÇÃO.....	29
7.1.1 Tipos de Canalização e suas especificidades	29
7.2 Travessia.....	31
8 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	35
8.1 Equação de Manning	35
8.1.2 Coeficiente de Rugosidade de Manning (n).....	36

9 JUSTIFICATIVA.....	38
10 OBJETIVOS.....	39
10.1 Objetivo geral	39
10.2 Objetivos específicos	39
11 METODOLOGIA	39
12 CONCLUSÃO	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do ciclo hidrológico da água.....	12
Figura 2 - Componentes do escoamento nos cursos d'água.....	14
Figura 3 - Caracterização do relevo de uma bacia hidrográfica – talwegues e divisores de água	15
Figura 4 - Representação em perspectiva de uma bacia hidrográfica.....	17
Figura 5 - Delimitação de bacia hidrográfica através de carta topográfica	20
Figura 6 - Hidrograma admitido no Método I-PAI-WU	25
Figura 7 - Ábaco para determinação do coeficiente espacial da chuva (K)	28
Figura 8 - Exemplos de revestimentos para canais trapezoidais.....	30
Figura 9 - Exemplos de revestimentos para canais retangulares	31
Figura 10 - Travessias aéreas Pontes, Galerias e Bueiros	32
Figura 11 - Travessias aéreas - dutos	33
Figura 12 - Travessia intermediária	33
Figura 13 - Travessias subterrâneas	34
Figura 14 - Diferentes tipos de seções transversais e suas equações	38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de Escoamento Superficial adotado para o Método Racional (Runoff)	22
Tabela 2 - Grau de Impermeabilidade do Solo.....	26
Tabela 3 - Coeficiente Volumétrico de Escoamento (C2)	27
Tabela 4 - Tipos de revestimentos.....	29
Tabela 5 - Tipos de Revestimentos para canalizações de contorno fechado....	31
Tabela 6 - Coeficiente de rugosidade de Manning	36
Tabela 7 - Velocidade Máxima para revestimentos em canais.....	37
Tabela 8 - Valores mínimos para período de retorno (TR).....	37

1 INTRODUÇÃO

Desenvolvimento da QPROJETO - Ferramenta de Cálculo de Vazão de Cheia e Capacidade de Escoamento Hidráulico para Travessias e Canais pelo Método Racional e I-PAI-WU, para apoiar o profissional de engenharia e áreas afins a obter os cálculos de vazão de projeto necessários para o dimensionamento correto de travessias aéreas, subterrâneas e canais abertos.

Para o desenvolvimento e o crescimento da sociedade é de vital importância a criação de infraestrutura para atender as necessidades dos locais. Uma das principais infraestruturas a serem criadas e mantidas são as estradas, que possibilitam acesso aos grandes centros comerciais. Contudo, as estradas exigem diversas estruturas para vencer os obstáculos, tais como montanhas, rios entre outros. Tratando-se de recursos hídricos, são diversos os dispositivos que fazem com que esses obstáculos sejam vencidos. A grande maioria das obras de artes realizadas para tal necessita de cálculo específico para seu dimensionamento.

No cenário atual há uma escassez de ferramentas para cálculos específicos de vazão de cheia e capacidade de escoamento hidráulico, assim para atender profissionais da engenharia com a necessidade descrita, o QPROJETO irá trazer de forma objetiva e fácil todo o memorial de cálculo para a projeção de uma travessia aérea sobre um curso d'água, como também para canais.

Contudo o desenvolvimento de novas tecnologias requer um conhecimento interdisciplinar para abordar a complexidade exigida. Segundo Babin (2007, p. XV), “trabalhar com tecnologia é interessante por que, cada vez que você pensa que conseguiu dominá-la... pronto! Algo surge do nada deixando-o desorientado e empolgado ao mesmo tempo”.

2 INFORMÁTICA

Em qualquer atividade humana, verifica-se que a resolução dos problemas consiste em uma série de tarefas, das quais as fundamentais são decidir o que e como fazer e executar as operações. O computador é mais do que um simples instrumento para a solução de problemas. (VELLOSO, 1997. p. 11).

A padronização das rotinas tem cada vez mais dado eficiência em todas as áreas do conhecimento, uma vez que ela possibilita um ganho maior no tempo de execução de tarefas. Na engenharia não tem sido diferente, cada vez mais temos visto o emprego de ferramentas computadorizadas no desenvolvimento da área e também no campo de obra.

Informática nada mais é do que informação automática, assim há a necessidade de desenvolvermos cada vez mais ferramentas para auxiliar na automação de todas as áreas, não conseguimos imaginar nos tempos atuais a medicina sem tecnologia, o sistema bancário sem uso dos softwares, máquinas, caixas eletrônicos e tudo mais.

A hidrologia é um dos campos da engenharia civil com alto teor de complexidade para se calcular, projetar e executar, também existem poucas ferramentas disponíveis no mercado para uso em projetos, escassez de informações, empirismo e demais problemas.

3 HIDROLOGIA

Segundo PINTO et. al. (1976).

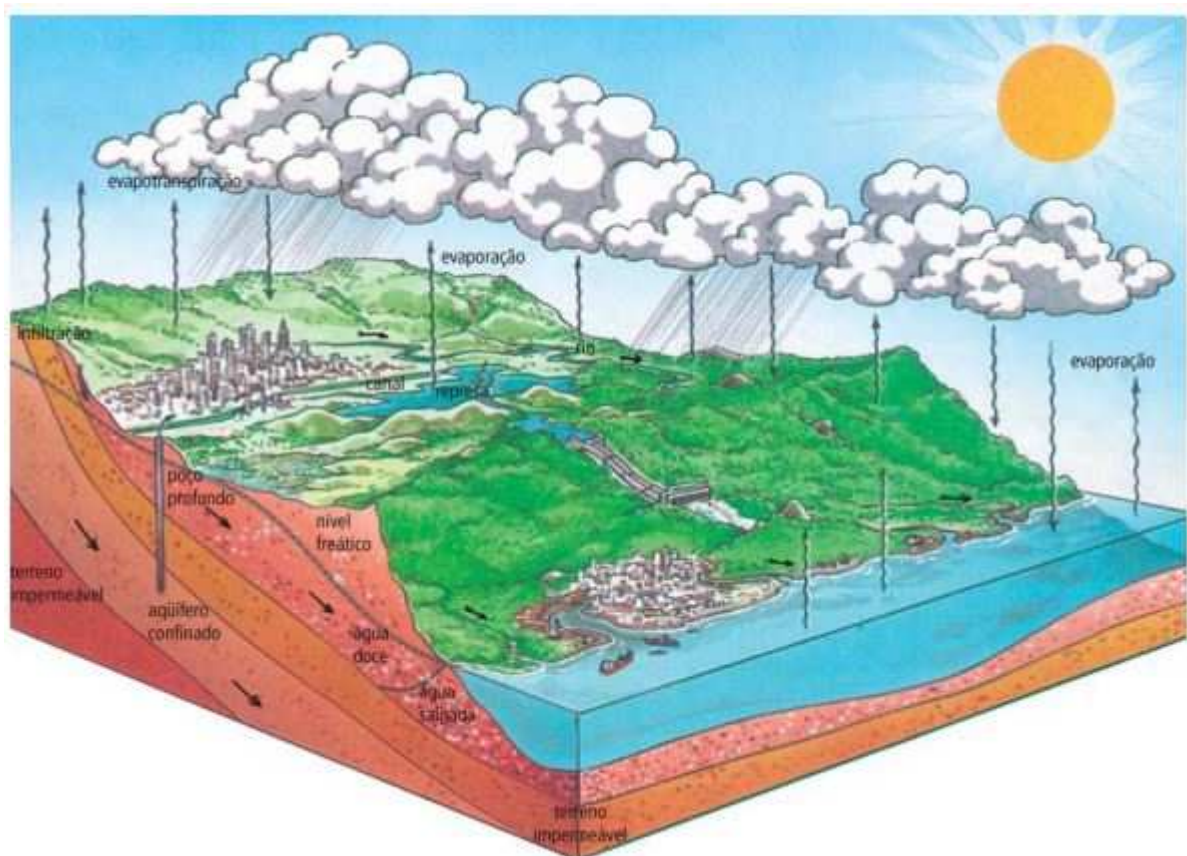
Hidrologia é a ciência que estuda a água na natureza. É parte da Geografia Física e abrange, em especial, propriedades, fenômenos e distribuição da água na atmosfera, na superfície da Terra e no subsolo. A hidrologia de superfície trata especialmente do escoamento superficial, ou seja, da água em movimento sobre o solo. Sua finalidade primeira é o estudo dos processos físicos que tem lugar entre a precipitação e o escoamento superficial e o seu desenvolvimento ao longo dos rios. (PINTO, 1976, p. 1).

3.1 Ciclo Hidrológico

A água que permeia na terra vive um ciclo fechado com mudanças em seu estado de matéria devido as variações que ela percorre em seu ciclo. Desse modo chamamos de ciclo hidrológico todo o percurso que a água transcorre ao longo do tempo. Segundo DAEE (2008) ciclo hidrológico também é a circulação da água entre a superfície terrestre, atmosfera e o solo.

Como vemos na Figura 1 abaixo, o ciclo hidrológico ocorre de maneira ordeira, assim consegue-se analisar o comportamento total do recurso hídrico fazendo com que caso haja uma intervenção, a mesma possa ser equacionada.

Figura 1 - Representação do ciclo hidrológico da água



Fonte: DAEE, 2008.

Para DAEE (2008) os elementos considerados na Figura 1:
 Precipitação atmosférica (P);
 Escoamento Superficial (ES);

Infiltração no solo (I);
Evaporação e evapotranspiração (EV);
Volume precipitado (V);

O volume de chuva que cai em uma determinada área ou em uma bacia qualquer resulta em uma das situações acima, assim temos que:

$$P = ES + I + EV$$

Afirma DAEE (2008), ainda que as enchentes sejam causadas pelo escoamento superficial (ES) e decorrem de chuvas intensas entendidas como ocorrências naturais extremas.

Portanto quanto pior for a condição de retenção do recurso hídrico pela vegetação ou pelo solo, e quanto maior for à parte da bacia de contribuição impermeabilizada, maior será o escoamento superficial.

3.2 Escoamento Superficial

Pinto (1976) aborda que o escoamento superficial é uma parte do ciclo hidrológico que estuda o movimento das águas na superfície terrestre. Sendo a partir da menor fração de chuva que ao cair em solo impermeável ou saturado escoar, formando assim as enxurradas, rios, córregos, lagos e reservatórios.

A origem do escoamento superficial é exclusivamente por conta das chuvas (precipitações) que ocorrem, pois a partícula de água de chuva ao entrar em contato com diferentes situações sofre mudanças e perdas, como a evaporação. Parte da chuva que cai sobre a superfície fica retida entre a vegetação e também é absorvida pela infiltração do solo. A outra parte escoar pela superfície assim que o solo que a infiltrava, agora saturado, não consegue mais absorver de forma correlata a intensidade da chuva.

A água sempre procura os pontos de declividade no solo para escoar, sendo esse escoamento, um escoamento livre, pois apenas os obstáculos naturais estarão em seu caminho.

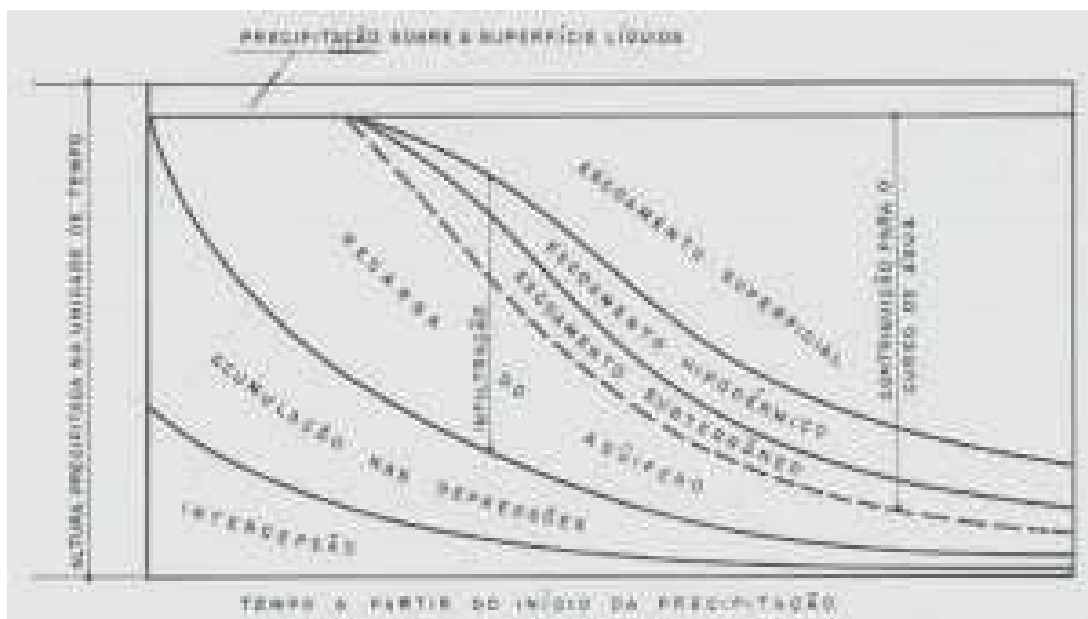
4 COMPONENTES DO ESCOAMENTO DOS CURSOS D'ÁGUA

Pinto (1976) ainda aborda, que as águas das chuvas chegam aos cursos d'água de 4 maneiras:

- Escoamento superficial;
- Escoamento subsuperficial ou hipodérmico;
- Escoamento subterrâneo;
- Precipitação direta sobre a superfície livre;

A Figura 2 abaixo retrata o total comportamento de cada tipo de escoamento citado acima.

Figura 2 - Componentes do escoamento nos cursos d'água



Fonte: Pinto, 1976.

Pinto (1976), explica que:

A ação da interceptação e a da acumulação tende a reduzir-se no tempo e a da infiltração a tornar-se constante. O escoamento subsuperficial, quando ocorre nas primeiras camadas do solo é difícil de ser separado do escoamento superficial. O escoamento subterrâneo dá uma contribuição que varia lentamente com o tempo e é o responsável pelo abastecimento do curso d'água durante a estiagem. A contribuição do escoamento superficial cresce com o tempo até atingir um valor sensivelmente constante à medida

que a chuva segue. Quando para a chuva, ele vai escoando até esgotar-se. (PINTO, 1976, p. 37).

4.1 Coeficiente de Deflúvio

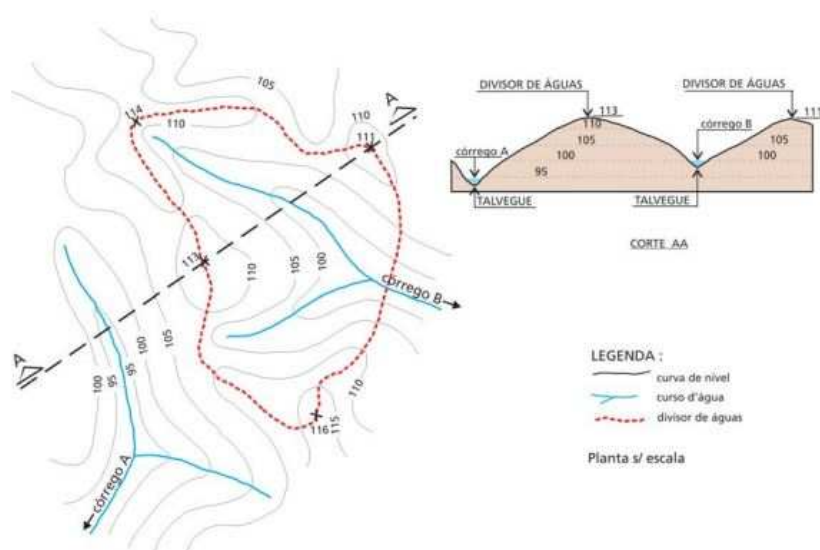
O coeficiente de deflúvio é o volume escoado pela seção junto com a quantidade precipitada em uma bacia em razão do tempo.

4.2 Talvegue

É a parte mais baixa de um vale, geralmente por onde correm os cursos d'água, podendo em algumas bibliografias ser encontrado como o canal mais profundo de um leito de curso d'água. DAEE (2008) afirma que talvegue é por onde correm as águas no fundo do vale, definido pela interseção dos planos das vertentes.

A Figura 3, ilustra como se identifica o talvegue em uma carta topográfica.

Figura 3 - Caracterização do relevo de uma bacia hidrográfica – talvegues e divisores de água



Fonte: DAEE, 2008.

5 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Tempo de concentração é o tempo que a partícula de chuva leva após cair do ponto mais alto da bacia hidrográfica em estudo até chegar no exutório, ou seja, no ponto mais baixo a ser estudado.

Já (Pinto, 1976), cita que o tempo de concentração relativo a uma seção, é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação, levando em consideração a gota de chuva que mais demora para chegar ao ponto estudado.

O tempo de concentração pode ser calculado como mostra (DAEE, 2008) a equação empírica:

$$t_c = 57 [L^3/\Delta h]^{0,385}$$

Onde:

t_c = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue do curso d'água;

Δh = desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m);

A equação acima é utilizada quando temos pequenos trechos a ser calculados ou não temos os dados topográficos que permitem um melhor detalhamento do perfil do talvegue em estudo.

Conhecendo melhor o perfil do talvegue, havendo o levantamento topográfico do mesmo, assim como, os seus pontos intermediários conhecidos pode-se definir melhor o perfil longitudinal do talvegue estudado. Para isso, DAEE (2008) recomenda a equação da declividade equivalente para se aferir o tempo de concentração, como mostra:

$$t_c = 57 [L^2/I_{eq}]^{0,385}$$

Onde:

t_c = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue do curso d'água, porém agora é a soma dos comprimentos ($L_1+L_2+L_3 \dots L_n$);

I_{eq} = declividade equivalente em m/km, sendo equacionada assim:

$$I_{eq} = (L/[(L_1/\sqrt{j_1})+(L_2/\sqrt{j_2})+(L_3/\sqrt{j_3})+ \dots (L_n/\sqrt{j_n})])^2$$

Onde:

$j_n = \Delta h/L_n$, declividade (m/km) de cada trecho n;

Δh = desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m);

5.1 Nível de Água

É a altura que a água atinge na seção em estudo, partindo essa medição de um referencial conhecido, podendo ser feito de modo instantâneo ou através de médias por período.

5.2 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica é a área de captação de toda a água que precipita sobre ela. Alguns outros termos podem ser encontrados nas literaturas disponíveis, como bacia de contribuição, micro bacia entre outros.

Pinto (1976) define que bacia hidrográfica é a área geográfica que coleta a água da chuva que escoam pelo solo. A Figura 4, mostra em perspectiva a bacia hidrográfica de um curso d'água.

Figura 4 - Representação em perspectiva de uma bacia hidrográfica



Fonte: DAEE, 2008.

5.3 Vazão

É o volume de água que escoar por uma seção qualquer em relação ao tempo. Pinto (1976), define que podemos distinguir entre vazões normais e de inundação.

No primeiro caso estão as que, ordinariamente, escoam no curso de água, e no segundo as que, ultrapassando um valor limite, excedem a capacidade normal das seções de escoamento dos cursos d'água. São expressas em metros cúbicos por segundo ou em litros por segundo. (PINTO, 1976, p. 38).

6 MÉTODO CHUVA X VAZÃO

É de fundamental importância no planejamento, projeto e para as construções de drenagem que o estudo hidrológico seja realizado de forma correta. Considerações incorretas podem levar o projeto ao superdimensionamento, causando assim um custo excessivo e desnecessário. Também pode-se gerar um subdimensionamento, esse trazendo consequências mais graves, desde o colapso de obras de artes (travessias/pontes), ou seja, grandes danos materiais ou até mesmo mortes devido ao erro do projeto.

Assim, há a necessidade de se ter uma metodologia confiável para se realizar os estudos hidrológicos necessários.

6.1 Metodologias

Aplica-se aos estudos a serem realizados pela ferramenta QPROJETO duas metodologias para dimensionamento hidráulico de obras de arte, o Método Racional e o Método I-Pai-Wu, a descrição dos métodos citados se dará a frente.

6.2 Campo de Aplicação dos Métodos

Segundo DAEE/CETESB (1980) o Método Racional é utilizado em vários países, pois já é considerado um método consolidado e provavelmente

continuará sendo empregado para o dimensionamento de obras hidráulicas para bacias hidrográficas de até 1 km², pois mediante estudos apura-se que para bacias acima de 1km² deve-se haver estudos mais aprofundados, sendo esses estudos limitados pelo Método Racional.

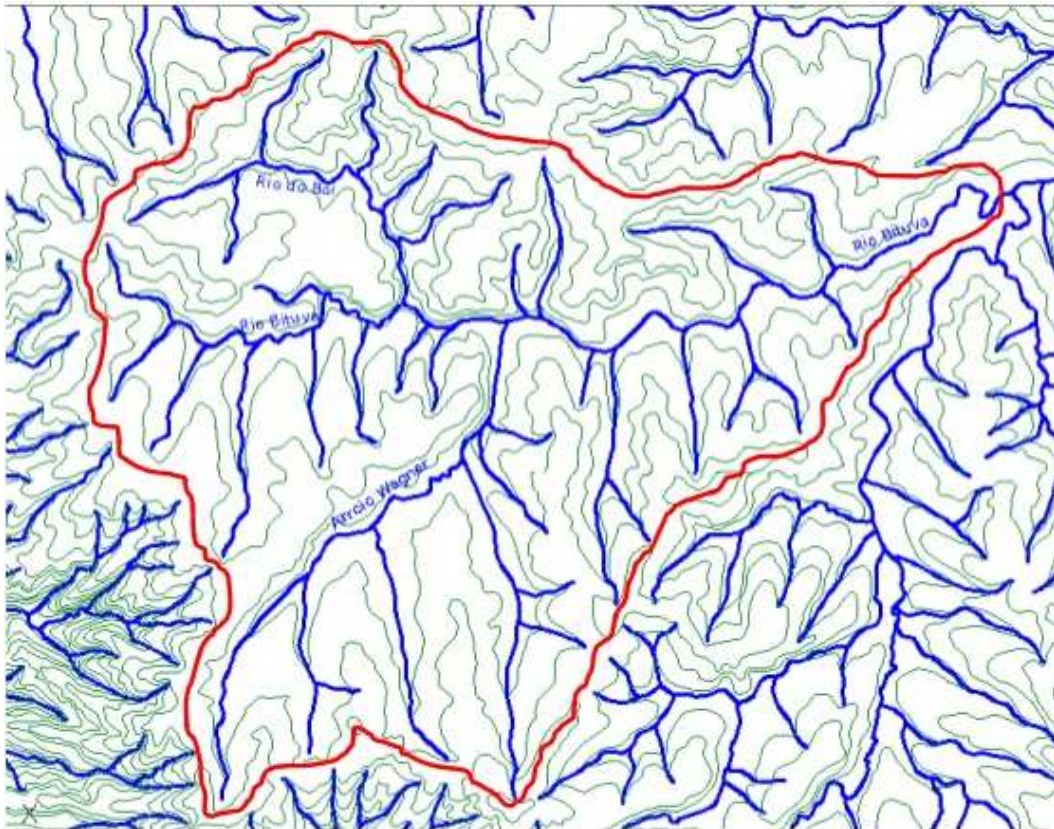
O Método I-Pai-Wu é uma melhora do Método Racional, aumentando sua capacidade de aplicação, ou seja, pode-se utilizar para bacias hidrográficas de até 200 km².

6.3 Delimitação De Bacia Hidrográfica ou Área de Drenagem

Área da bacia hidrográfica, ou área de contribuição, é a região de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos superficiais e subsuperficiais para um único ponto de saída. Expressa-se, usualmente, em hectares (ha) ou em quilômetros quadrados (km²). A linha do divisor de águas que delimita a bacia hidrográfica pode ser definida como a que separa as águas pluviais entre duas vertentes. Numa carta topográfica, é a linha imaginária que passa pelos pontos altos e cotados, que corta perpendicularmente as curvas de nível e não cruza nenhum curso d'água, a não ser na seção que define o limite de jusante da bacia de contribuição. (DAEE, 2008. p. 12).

A figura 5 demonstra como delimitar a área de uma bacia hidrográfica através de uma carta topográfica. Pode-se observar que a linha em vermelho está delimitando a área da bacia hidrográfica que contribui para o rio principal e seus afluentes partindo do ponto mais baixo do talvegue ou ponto de estudo.

Figura 5 - Delimitação de bacia hidrográfica através de carta topográfica



Fonte: <https://image.slidesharecdn.com/conceitobaciahidrografica-141026201316-conversion-gate02/95/conceito-bacia-hidrografica-6-638.jpg?cb=1414354663>, acessado em 30/04/2019.

6.4 Método Racional

Segundo DAEE (1994), para bacias hidrográficas que apresentam baixa complexidade e tenham sua extensão limitada até 2 km² de área de drenagem o método racional é o mais indicado para realizar o cálculo da vazão de projeto. O método racional vem sendo utilizado desde 1889, largamente utilizados em países como os Estados Unidos.

Muitas vezes criticado academicamente por sua simplicidade, o mesmo ainda não foi substituído por nenhum outro método. O mesmo aplicado de forma correta conduz a resultados satisfatórios em projetos de drenagem e obras hidráulicas.

O cálculo do Método Racional se dá através da equação abaixo:

$$Q=0,1667 C i AD$$

Onde,

Q = vazão de projeto (m³/s);

0,1667 = constante (ad);

AD = área de drenagem (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial (*runnoff*);

i = intensidade de precipitação (mm/min);

Lembrando sempre, que “o Método Racional não avalia o volume de cheia nem a distribuição temporal de vazões” (DAEE, 2008, p. 17). Ainda segundo DAEE (2008), assim como em vários outros métodos, a aplicação do Método Racional considera a duração da chuva intensa de projeto de forma igual ao tempo de concentração da bacia.

Em casos de bacias menores, as situações mais críticas se devem a chuvas de curta duração, como por exemplo, as chuvas convectivas, as quais são comuns no verão e apresentam um grande volume pluviométrico em um curto período, ou seja, chuvas torrenciais.

Para tal, precisa-se conhecer a intensidade da chuva crítica da bacia, a forma de obtenção desse valor para o cálculo é com base nos dados históricos de séries longas de índices pluviométricos conhecidos. Tais dados permitem que sejam geradas curvas e tabelas representando as relações entre a intensidade (I), duração (D) e frequência (F) de chuvas para localidades diferentes.

DAEE (2008) traz a título de exemplificação, a equação de chuvas intensas para a cidade de Piracicaba – SP, dados de 1980 à 1997.

$$i_{t,TR} = 47,8273 (t+30)^{-0,911} + 19,2043 (t+30)^{-0,9256} [-0,482-0,9273 \ln \ln((TR/(TR-1)))]$$

Sendo que para $10 \leq t \leq 1440$ min;

Onde,

t = duração da chuva (min);

TR = tempo de recorrência ou período de retorno em anos;

$i_{t,TR}$ = intensidade da chuva (mm/min), correspondente à duração t e ao período de retorno (TR).

6.4.1 Tempo de Recorrência ou Período de Retorno

Período de retorno ou recorrência é a análise de dados históricos de um período de chuva de maior intensidade e a chance da mesma exceder ou acontecer novamente. Representa-se o Tempo de Recorrência ou Período de retorno através de sua abreviação ou sigla (TR), exemplo TR = 100 anos.

6.4.2 Coeficiente de escoamento superficial para o Método Racional (Runoff)

Abaixo se tem os valores para o coeficiente de escoamento superficial adotados para o método racional, uma vez que este coeficiente já se encontra devidamente descrito no item 3.2, atente-se a tabela 1 para os valores.

Tabela 1 - Coeficiente de Escoamento Superficial adotado para o Método Racional (*Runoff*)

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES	
	MÍNIMOS	MÁXIMOS
Área totalmente urbanizada/Urbanização futura	0,50	0,70
Área parcialmente urbanizada/Urbanização moderada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos e etc/Urbanização atual	0,20	0,35

6.4.3 Vazão de Projeto

DAEE (2008) traz que estabelecido o tempo de recorrência (TR) e efetuado o cálculo de duração da chuva crítica ($t = t_c$)⁴, pode-se substituir os valores na equação de chuvas intensas e determinar o valor da intensidade da chuva de projeto ($i_{t,TR}$).

Com os valores de intensidade (i), juntamente com a área de drenagem (AD) da bacia e do coeficiente de deflúvio superficial (C), calcula-se então o valor de vazão do projeto através da equação a seguir:

$$Q = k C i AD$$

Onde,

Q = vazão de projeto;

k = coeficiente de distribuição espacial da chuva;
 C = deflúvio superficial ou escoamento superficial;
 i = intensidade de chuva;
 AD = área de drenagem da bacia hidrográfica;

Vale ressaltar que caso o tempo de concentração (t_c) seja inferior a 10 minutos, obrigatoriamente adotar o valor de $t_c = 10$, possibilitando assim o uso da equação I-D-F, citada no item 6.4.

6.5 MÉTODO I-PAI-WU

I-PAI-WU é uma evolução do Método Racional já demonstrado acima, porém pode ser utilizado para se dimensionar a vazão de projeto para bacias hidrográficas de até 200 km², como cita DAEE (1994).

O Método I-PAI-WU pode ser aplicado através de sua equação.

$$Q = 0,278 C i A^{0,9} K$$

Onde,

Q = vazão de cheia (m³/s);

0,278 = constante (ad.)

C = coeficiente de escoamento superficial (Runoff);

i = intensidade da chuva crítica (mm/h);

A = área da bacia de contribuição (bacia hidrográfica) (km²);

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva;

6.5.1 Coeficiente de Escoamento Superficial Adotado para o Método I-PAI-WU

Conforme DAEE (1994) os principais fatores a serem analisados na bacia hidrográfica são:

- Forma, área e declividade da bacia hidrográfica;
- Intensidade e distribuição da chuva crítica;
- Características da superfície da bacia:
 - Provável utilização futura do terreno;
 - Grau de impermeabilização do solo;

- Existência de depressões ou bacias de acumulação que diminuem os picos de cheias.
- Grau de saturação do solo devido a chuvas anteriores.
- Tempo de escoamento superficial (t_s);
- Tempo de concentração (t_c);
- Tempo de pico (t_p);

Diferente do Método Racional que admite que a chuva crítica, em uma determinada bacia tenha a duração igual ao tempo de concentração, em bacias de formas maiores e mais longas, respeitando o sentido do talvegue, o tempo de concentração poderá ser superior ao tempo de maior intensidade da chuva (pico). Pode-se afirmar que dessa forma, para bacias maiores entende-se que a chuva que cai mais remotamente na bacia ou nas extremidades não tem influência significativa na vazão máxima de projeto.

Sendo assim, tem-se o seguinte coeficiente de forma (C1).

$$C1 = t_p/t_c$$

Onde,

t_p = tempo de pico;

t_c = tempo de concentração;

Admite-se também o coeficiente de forma pela equação abaixo:

$$C1 = [4/(2+F)]$$

Onde (F) é o fator de forma da bacia, uma relação direta da bacia hidrográfica com um círculo perfeito de mesma área, sendo este utilizado para medir a forma da bacia hidrográfica, logo se a bacia fosse circular $F=1$.

Assim, levando-se em conta o formato das bacias, C1 deverá ser menor que 1 para as bacias hidrográficas alongadas. No Método Racional admite-se sempre que a bacia é de forma circular perfeita, logo $C=1$.

Ainda segundo DAEE (1994), adotando-se a nomenclatura utilizada no Método I-PAI-WU, o coeficiente de escoamento superficial do Método Racional pode ser equacionado por:

$$C=f (C2/C1)$$

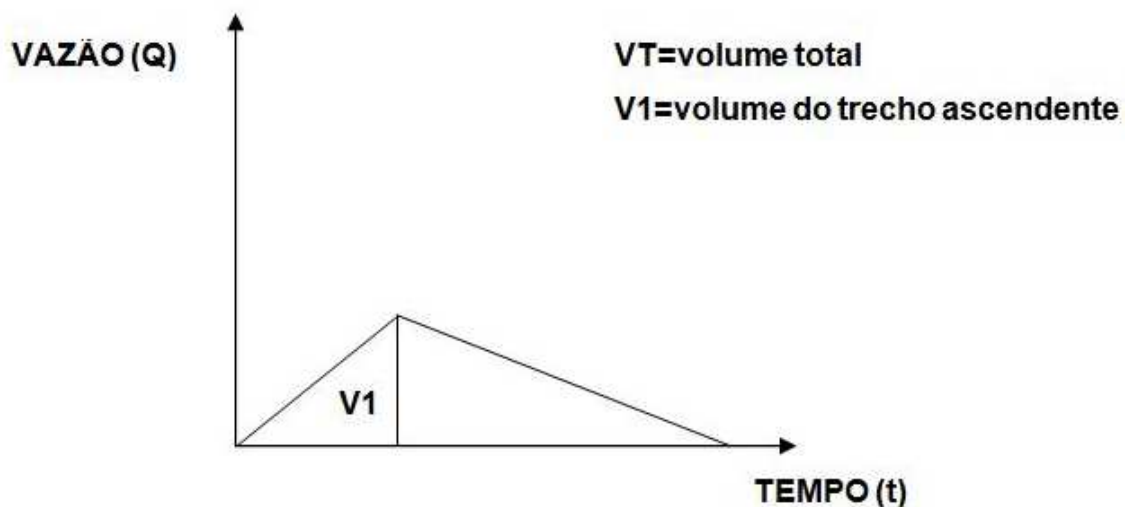
Onde,

$$f = 2V1/ V$$

Sendo,

f = relação entre o volume de escoamento da parte ascendente do hidrograma ($V1$) abaixo, admitindo este com forma triangular, e o volume total do escoamento superficial (VT), conforme Figura 6.

Figura 6 - Hidrograma admitido no Método I-PAI-WU



Fonte: DAEE, 1994

Sendo assim, o coeficiente de escoamento superficial para o Método I-PAI-WU ($C2$), que também é o coeficiente volumétrico de escoamento é definido pela equação abaixo:

$$C2 = [VT/(le.A)]$$

Onde,

le = quantidade de chuva efetiva que passa pela seção estudada, descontando as perdas durante a ocorrência da chuva de projeto;

A = área da bacia hidrográfica;

VT = volume total;

Portanto, conforme DAEE (1994) na aplicação do Método I-PAI-WU, determina-se inicialmente a chuva de projeto e a partir desta, desconta-se as perdas, para obter-se a vazão efetiva.

As perdas, uma parte da chuva crítica que se infiltra no solo está ligada diretamente com o grau de impermeabilização do mesmo. A classificação desse grau ocorre a partir do conhecimento do uso do solo, do grau de urbanização, da cobertura vegetal e do tipo do solo, como demonstra a Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Grau de Impermeabilidade do Solo

GRAU DE IMPERMEABILIDADE DO SOLO	COBERTURA OU TIPO DE SOLO	USO DO SOLO E GRAU DE URBANIZAÇÃO
Baixo	Com vegetação rala e/ou esparsa; Solo arenoso seco; Terrenos cultivados;	Zonas verdes não urbanizadas
Médio	Terrenos com manto fino de material; Solos com pouca vegetação; Gramados amplos; Declividades médias;	Zona residencial com lotes amplos (maior que 1000 m ²); Zona residencial rarefeita;
Alto	Terrenos pavimentados; Solos argilosos; Terrenos rochosos estéreis ondulados; Vegetação quase inexistente;	Zona residencial com lotes pequenos (100 a 1000 m ²);

Segundo, DAEE (1994) cita que o coeficiente C2 deverá ser obtido por ponderação das áreas parciais ou sub-bacias, esses coeficientes são classificados pelo grau de impermeabilidade do solo, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente Volumétrico de Escoamento (C2)

GRAU DE IMPERMEABILIDADE DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE VOLUMÉTRICO DE ESCOAMENTO (C2)
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Pede-se ainda no Método I-PAI-WU para que seja considerado um fator de redução para a chuva de projeto, entendendo-se que em toda bacia, a chuva não ocorre de forma uniforme. Assim sendo, determina-se o coeficiente de redução (K).

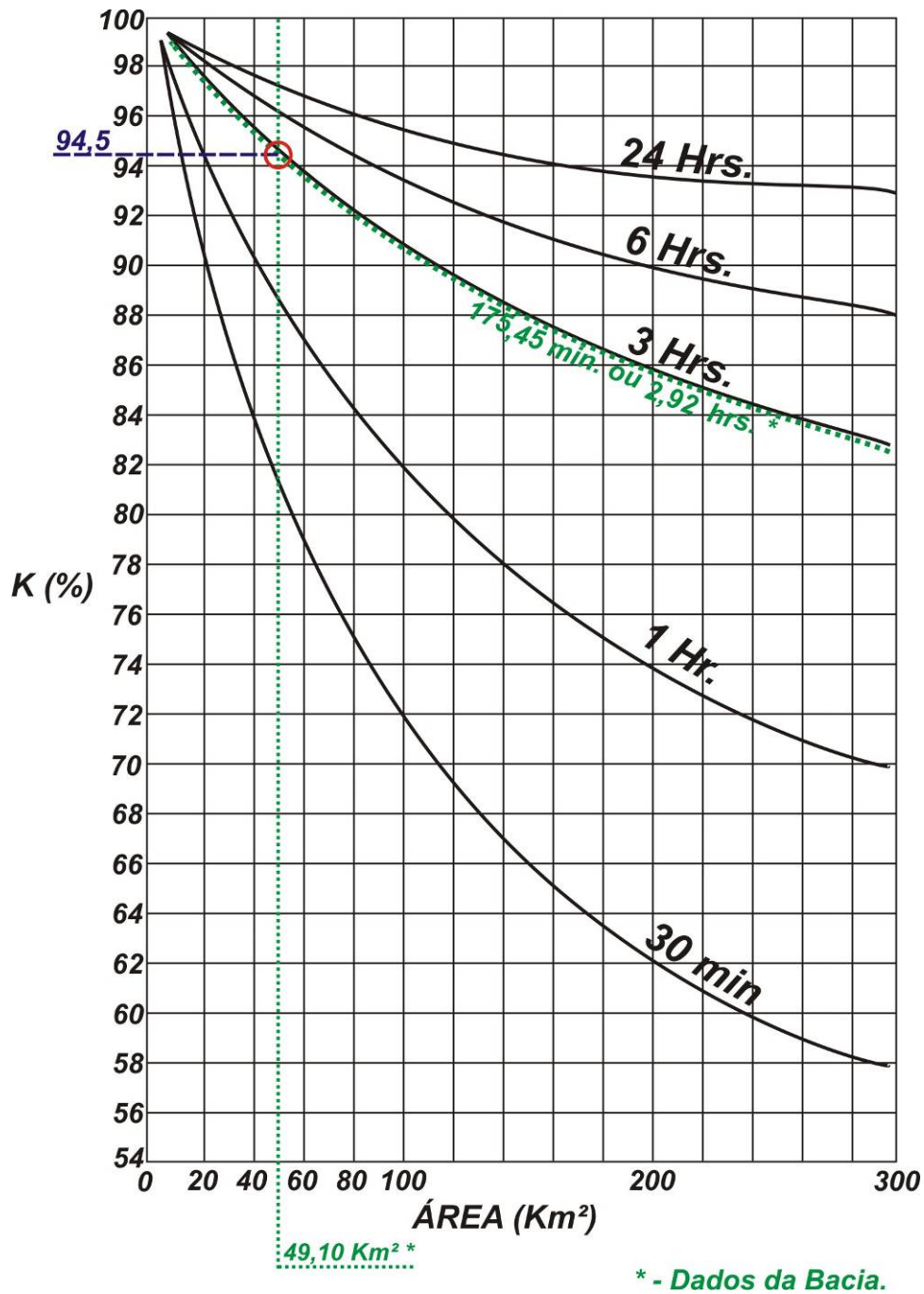
6.6 Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K)

Segundo Miguez, Veról e Rezende (2016) é a última consideração a ser feita para o cálculo da vazão de projeto sobre a área de ocorrência da chuva.

As equações de chuva utilizam informações hidrológicas de postos de medição, distribuídos pelas bacias, utilizando diferentes formas de cálculos para encontrar uma chuva média. Porém, a medição da chuva em um posto acontece de forma pontual e diversos estudos indicaram que as chuvas possuem uma distribuição espacial na qual sua intensidade diminui a medida que se afasta do núcleo. Normalmente, o resultado desses estudos indica curvas de abatimento da chuva de projeto em função da área da bacia, conhecido como curvas de redução ponto-área. (MIGUEZ, VERÓL e REZENDO, 2016, p. 195).

Abaixo na figura 7 segue ábaco para determinar o coeficiente da distribuição espacial da chuva (K).

Figura 7 - Ábaco para determinação do coeficiente espacial da chuva (K)



Fonte: DAEE, 1994.

7 OBRAS HIDRÁULICAS

Obras hidráulicas por definição são as quais tem como intervenção em qualquer recurso hídrico. As obras abordadas neste item têm em sua finalidade

servir para a travessia de pessoas, animais, automóveis e também canalizar e conduzir a água para um destino correto e seguro.

Para implantação de obras hidráulicas é necessário proceder com os estudos hidrológicos abordados anteriormente e realizar o dimensionamento de suas vazões para que as mesmas em uma situação crítica não ultrapassem a seção construída. Para isso, serão apresentando os memoriais de cálculos e os resultados dimensionados para travessia e canalização.

7.1 CANALIZAÇÃO

Segundo DAEE (2008), canalizar é intervir no curso natural de um rio, curso d'água, ribeirão entre outros.

7.1.1 Tipos de Canalização e suas especificidades

Existem dois tipos disponíveis para se executar uma canalização, são eles a céu aberto (canais) e o de contorno fechado (galerias). Para o dimensionamento desses dispositivos as seções geométricas mais utilizadas são as trapezoidais, retangulares e a circular.

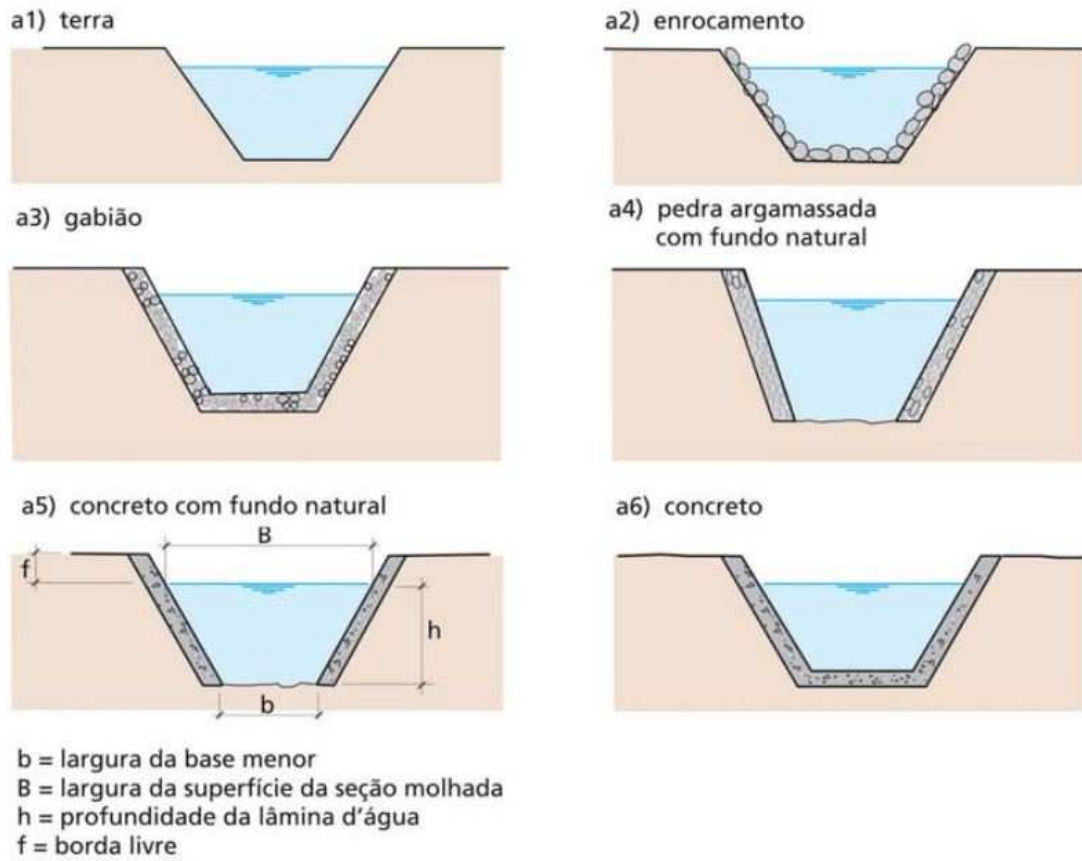
A tabela 4 abaixo traz os tipos de revestimentos para canalização a céu aberto mais usuais a se dimensionar.

Tabela 4 - Tipos de revestimentos

TIPOS DE REVESTIMENTOS – CANALIZAÇÕES A CÉU ABERTO	
Trapezoidal	Retangular
Terra	Pedra argamassada
Enronçamento	Terra armada
Gabião	Concreto
Pedra argamassada com fundo natural	
Concreto com fundo natural	
Concreto	

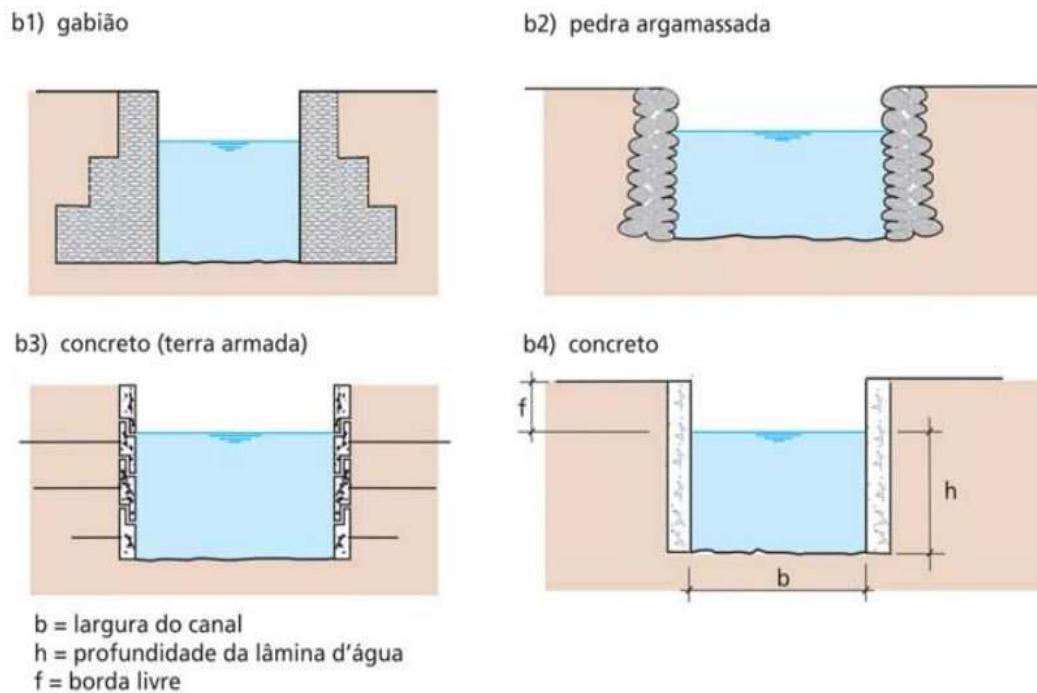
A Figura 8 traz exemplos de revestimentos para canais trapezoidais.

Figura 8 - Exemplos de revestimentos para canais trapezoidais



Fonte: DAEE, 2008.

Já a Figura 9, mostra exemplos de revestimentos para canais retangulares.

Figura 9 - Exemplos de revestimentos para canais retangulares

Fonte: DAEE, 2008.

Para canalizações com o contorno fechado têm-se os revestimentos mais resistentes, como mostra a Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Tipos de Revestimentos para canalizações de contorno fechado

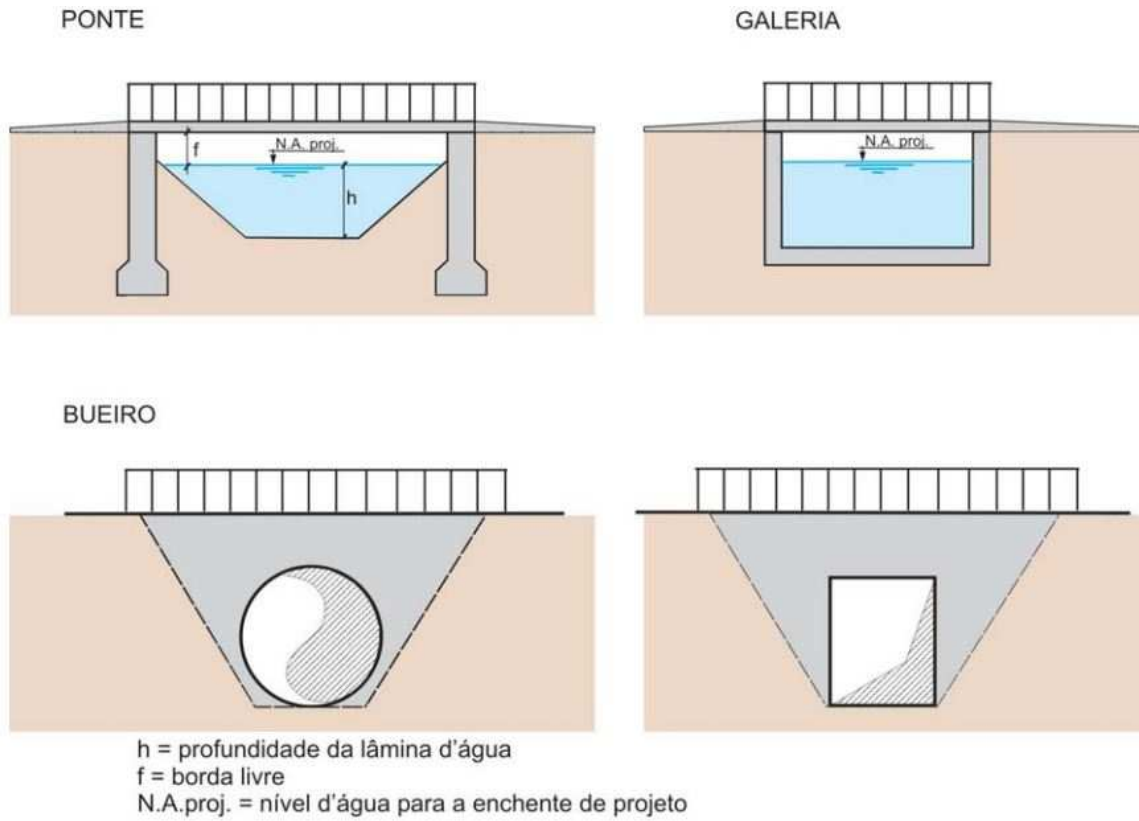
TIPOS DE REVESTIMENTOS – CANALIZAÇÕES CONTORNO FECHADO	
CONCRETO	AÇO CORRUGADO
Pré-Moldado (Retangular e Circular)	O mesmo
Moldado in loco (Retangular)	O mesmo

7.2 Travessia

Conforme DAEE (2008) são estruturas que permitem a passagem entre as margens de um curso d'água ou lago, de pessoas, veículos, animais, cabos, dutos entre outros. Existem as travessias aéreas, tendo essa denominação por estar acima do nível da água de projeto, as intermediárias que ficam entre o nível da água e o leito e as subterrâneas que é por debaixo do leito do curso d'água.

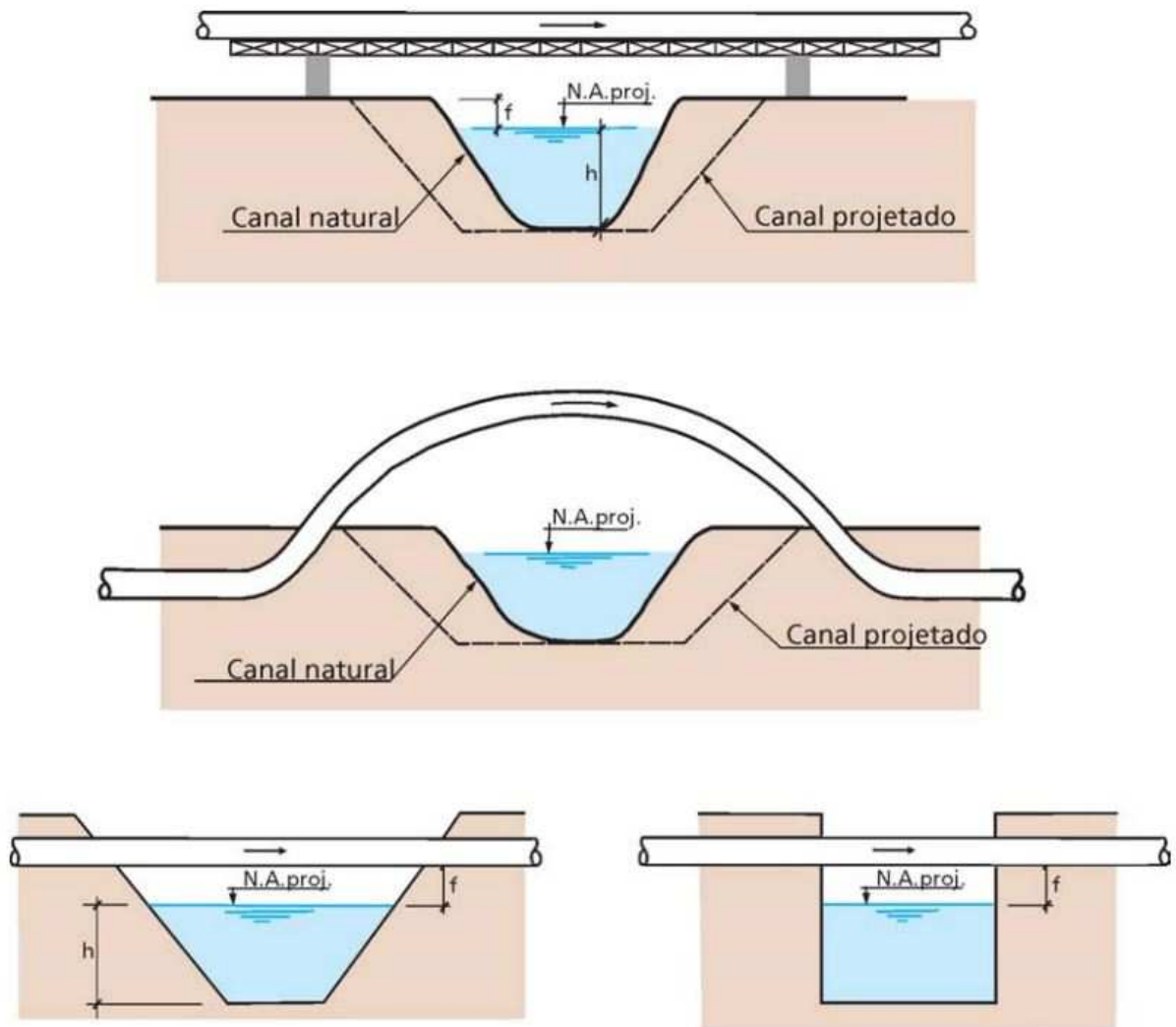
As Figuras 10, 11,12 e 13 exemplificam os modelos de travessias citadas.

Figura 10 - Travessias aéreas Pontes, Galerias e Bueiros



Fonte: DAEE, 2008.

Figura 11 - Travessias aéreas - dutos



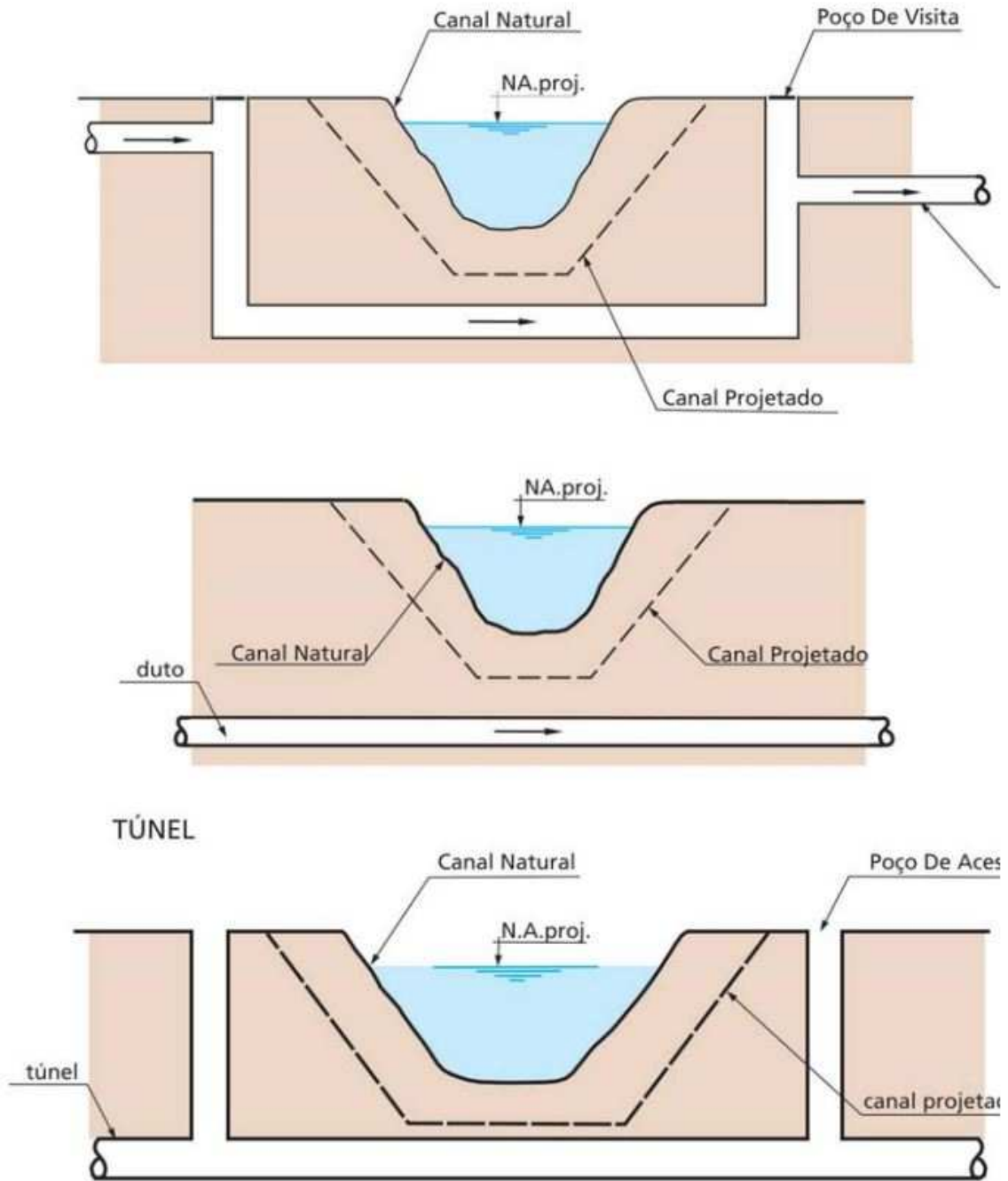
Fonte: DAEE, 2008.

Figura 12 - Travessia intermediária



Fonte: DAEE, 2008.

Figura 13 - Travessias subterrâneas



N.A.proj. = nível d'água para a enchente de projeto

Fonte: DAEE, 2008.

8 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

DAEE (2008) coloca que para o dimensionamento de canais e travessias, utiliza-se as mesmas técnicas usuais de projetos de drenagem urbana para ambas intervenções, analisa-se casos simples como forma de aplicar os conceitos básicos de hidráulica de canais. Assim todo o dimensionamento apresentado tem como referência escoamentos em regime uniforme e permanente, que só é válido devido as características hidráulicas (h , Q e V) serem constantes no tempo e ao longo do curso, sempre com o escoamento acontecendo em condutores livres.

8.1 Equação de Manning

A equação de Manning é utilizada para determinar a velocidade média da água na seção em m/s.

$$V = \left[\frac{1}{n} \right] \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Onde,

V = velocidade média (m/s);

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

i = declividade média (m/m);

R_H = raio hidráulico (m);

Sendo que para o Raio Hidráulico (R_H), que é uma grandeza linear característica do escoamento, representado pela equação abaixo.

$$R_H = A_m / P_m$$

Onde,

A_m = área molhada (m²);

P_m = perímetro molhado (m);

Determina-se a declividade média de trecho a trecho do canal em estudo, a mesma é determinada pela equação da declividade média, já apresentada anteriormente.

$$i = \Delta h/L$$

Onde,

Δh = diferença de cotas de montante e jusante (m);

L = comprimento do trecho (m);

8.1.2 Coeficiente de Rugosidade de Manning (n)

A Tabela 6 traz os valores sugeridos por (DAEE, 2008) para utilização no dimensionamento de canais segundo cada revestimento a ser utilizado.

Tabela 6 - Coeficiente de rugosidade de Manning

COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE MANNING (n)	
REVESTIMENTO	n
Terra	0,035
Rachão	0,035
Gabião	0,028
Pedra argamassada	0,025
Aço corrugado	0,024
Concreto	0,018

Portanto, para DAEE (2008) os canais que encontram-se com a seção revestida e parte sem revestimento como é o caso dos canais trapezoidais de pedra argamassada com fundo natural, concreto com fundo natural, demonstrados na Figura 8, também os canais retangulares de gabião e concreto conforme demonstrado na Figura 9, são utilizados revestimentos de tipos diferentes, assim o coeficiente de rugosidade dos mesmos mudam, ocorrendo assim o uso da equação abaixo para se determinar a rugosidade equivalente.

$$n_{eq} = [(P_a \cdot n_a + P_b \cdot n_b + \dots + P_n \cdot n_n) / P]$$

Onde,

n_{eq} = coeficiente de rugosidade equivalente;

P_a, P_b, \dots, P_n = perímetros molhados referentes aos revestimentos do tipo a, b, ..., n;

$P = P_a + P_b + \dots + P_n$ = somatório dos perímetros molhados;

Ainda para alguns revestimentos têm-se valores pré-definidos para a utilização e suas velocidades máximas como mostrado na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 - Velocidade Máxima para revestimentos em canais

REVESTIMENTO	V _{máx} (m/s)
Terra	1,5
Gabião	2,5
Pedra argamassada	3,0
Concreto	4,0

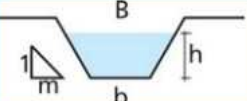
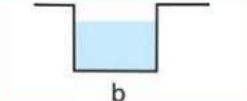
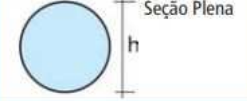
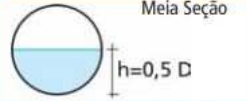
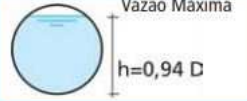
Dimensiona-se ainda, conforme DAEE (2008), para canais abertos a **borda livre** mínima é de 10% da lâmina d'água estimada conforme a vazão de projeto, porém a mesma não pode ser menor que 0,4 m. Em canais de contorno fechado deve-se respeitar os valores da Tabela 8.

Tabela 8 - Valores mínimos para período de retorno (TR)

OBRA	SEÇÃO GEOMÉTRICA		TR (anos)	
			Área Urbana	Área Rural
Canalização	A céu aberto	Trapezoidal	50	Análise caso a caso – TRs Menores
		Retangular	100	
	Contorno Fechado	100		
Travessias: Pontes, bueiros e outros	Qualquer		100	Para rodovias de menor porte pode ser utilizado TR < 100 até TR ≥ 25
Borda Livre (f) Canais a céu aberto: $f \geq 10\%$ da lamina d'água da seção em vazão de cheia (H_{TR}), com $f \geq 0,4m$ Canais em contorno fechado: $f \geq 0,2 H_{TR}$				

A Figura 14 traz a relação de equações a utilizar para diferentes tipos de seções transversais para canalização.

Figura 14 - Diferentes tipos de seções transversais e suas equações

Geometria da Seção	Área Molhada (A_m)	Perímetro Molhado (P_m)	Raio Hidráulico (R_H)	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$b \cdot h$	$b+2h$	$\frac{b \cdot h}{b+2h}$	b
 Seção Plena	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	$\frac{D}{4}$	----
 Meia Seção	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4}$	----
 Vazão Máxima	$0,7662 \cdot D^2$	$2,6467 \cdot D$	$0,2895 \cdot D$	----

Fonte: DAEE, 2008.

9 JUSTIFICATIVA

QPROJETO vem como uma ferramenta de apoio aos técnicos e engenheiros que necessitam ter mais facilidade para se calcular/dimensionar obras hidráulicas, uma vez que não se encontram muitas ferramentas disponíveis de fácil interpretação para utilizar.

Esse tipo de dimensionamento exige uma compreensão de todas as normas e recomendações dos órgãos competentes onde será inserida a intervenção em recurso hídrico, assim os métodos aplicados pela QPROJETO são reconhecidos e usuais pelo corpo técnico de todo o estado de São Paulo.

A agilidade oferecida junto com a precisão do dimensionamento agiliza todo o processo burocrático e executivo de uma obra de arte dessa grandeza.

10 OBJETIVOS

10.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver um aplicativo para auxiliar os profissionais de diversas áreas, em especial os da engenharia civil, no dimensionamento correto de travessia sobre cursos d'água e escoamento hidráulico.

A ferramenta QPROJETO tem por objetivo agilizar os profissionais de engenharia e afins no dimensionamento correto de travessias aéreas, subterrâneas e canais abertos.

10.2 Objetivos específicos

A ferramenta irá fornecer o memorial de cálculo completo para projetos de travessia sobre curso d'água e canais e apresentar os seguintes cálculos:

Cálculo da declividade equivalente em função das informações inseridas.

Cálculo do tempo de concentração em função da declividade equivalente.

Cálculo da intensidade da chuva crítica em função da equação de chuvas intensas e em determinado período de retorno inserido pelo usuário.

Calcular a capacidade hidráulica através da seção geométrica inserida.

11 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da ferramenta serão realizadas as seguintes atividades:

Utilização da linguagem de programação PHP (Personal Home Page), banco de dados MySql, HTML (HyperText Markup Language), CSS (Cascading Style Sheets) e JavaScript e servidor de hospedagem.

Será realizada modelagem do banco de dados através de ferramenta gratuita disponível no mercado.

Os dados técnicos serão fornecidos a ferramenta é de total responsabilidade do usuário, sendo ele profissional devidamente habilitado.

A ferramenta QPROJETO pode ser utilizada para dimensionamentos em todo o estado de São Paulo, uma vez que se aplica as metodologias recomendadas para o desenvolvimento de estudos hidrológicos e hidráulicos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica, órgão esse responsável pela gestão de Recursos Hídricos no estado de São Paulo.

12 CONCLUSÃO

A ferramenta QProjeto facilita o desenvolvimento do Estudo Hidrológico e do Dimensionamento Hidráulico para projetos de obras de artes como Travessias (pontes) e Canalizações de pequeno, médio e grande porte. A facilidade encontrada é que todos os dados ficam guardados em sua conta particular de técnico responsável no sistema, também durante os estudos e dimensionamentos é possível a variação de valores para simular dados e possibilidades para um melhor entendimento do projeto, sem contar que a ferramenta pode ser acessada de qualquer lugar no planeta, bastando apenas ter um dispositivo eletrônico como um celular, tablet ou um computador pessoal com acesso a internet.

A ferramenta possui um conceito de usabilidade para tornar o processo de uso mais lógico dentro da ferramenta, possui também material de apoio para que se tenha o conhecimento de como os cálculos e conceitos estão sendo aplicados pela ferramenta.

QProjeto foi desenvolvida em linguagem programacional PHP (Personal Home Page), JavaScript, CSS Materialize e banco de dados MySql, todas essas ferramentas de desenvolvimento programacional são livres e sem custos. A ferramenta está disponível eletronicamente através do endereço <http://www.qprojeto.com.br> e pode ser acessada de qualquer navegador disponível em um dispositivo eletrônico (celular, tablets, computador pessoal, notebooks) com acesso a internet.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BABIN, L. (2007). **Ajax com PHP**. Rio de Janeiro: Alta Books.

DAEE, D. D. (2008). **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: Imprensa Oficial.

DAEE, D. D. (1994). **Manual de Cálculo das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo.

DAEE/CETESB. (1980). **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. São Paulo: Centro de Publicações do Centro Tecnológico de Hidráulica - DAEE.

MIGUEZ, M. G. (2016). **Drenagem Urbana - Do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: ABDR.

PFAFSTETTER, O. (1976). **Deflúvio Superficial**. Rio de Janeiro: Bureau de Imprensa e Promoção - Editora Ltda.

PINTO, N. L. (1976). **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda.

RIGHETTO, A. M. (2009). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES.

VELLOSO, F. D. (1997). **Informática - Conceitos Básicos**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda.