

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS

ENGENHARIA CIVIL

ALFREDO DE OLIVEIRA SOUZA

SOLUÇÕES DE DRENAGEM: Eventos de enchentes ocorridas no Ribeirão Santana

**Varginha - MG
2016**

ALFREDO DE OLIVEIRA SOUZA

SOLUÇÕES DE DRENAGEM: Eventos de enchentes ocorridas no Ribeirão Santana

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS como pré-requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação da Professora M. Sc. Ivana Prado de Vasconcelos.

**Varginha - MG
2016**

ALFREDO DE OLIVEIRA SOUZA

**SOLUÇÕES DE DRENAGEM PARA OS EVENTOS DE ENCHENTES OCORRIDAS
NO RIBEIRÃO SANTANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS como pré-requisito para a obtenção do Grau de Bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em 29 /11 /16

Prof. Me. Ivana Prado de Vasconcelos

Prof. Dr. Leopoldo Uberto Júnior

Prof. Esp. Luana Ferreira Mendes

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos meus familiares, a todos os meus amigos que sempre estão ao meu lado não importa o que aconteça. A todos aqueles que acreditam no meu potencial e me apoiam em todas as decisões. Enfim, agradeço a colaboração da Professora Ivana Prado de Vasconcelos, pelos seus conselhos e orientações e pelo seu empenho quanto a este trabalho.

RESUMO

Sistemas de drenagem urbana, são sistemas que atualmente geram vários problemas aos municípios devido erros de projetos ou interferências externas. Para um sistema de drenagem correto é necessária uma administração correta do município, tanto quanto o investimento adequado em profissionais capacitados e métodos viáveis as determinadas áreas. O presente trabalho demonstra os erros no sistema de drenagem na cidade de Santana da Vargem, em que o canal de transporte da água pluvial do município transborda em época de grande precipitação. Com intuito de corrigir os devidos erros é adotar métodos economicamente corretos, foi feito um estudo referente a contribuição pluvial ao canal, definindo métodos usuais de cálculos e períodos de retorno favoráveis para os demais cálculos. Além de analisar a contribuição para o canal, foi feita a caracterização do mesmo destacando a situação atual e conseqüentemente o suporte de vazão. Após caracterizado a situação, verificou-se que o canal não suportava a contribuição pluvial, tornando-se necessário a elaboração de obras para aumentar o suporte de vazão para o canal estudado, fazendo um redimensionamento do mesmo, analisando a viabilidade de sua adoção.

Palavras chave: Sistemas de drenagem urbana, métodos economicamente corretos, redimensionamento.

ABSTRACT

Urban drainage systems, are systems that currently generate several problems to municipalities because errors projects or external interference. For proper drainage system proper administration of the municipality, as well as adequate investment in qualified professionals and viable methods of certain areas is necessary. This work demonstrates the errors in the drainage system in the city of Santana da Vargem, where the transport channel rainwater overflows the city in time of great precipitation.

In order to correct the errors due is to adopt economically correct methods, a study was done regarding rain contribution to the channel, defining usual methods of calculations and payback periods favorable for the other calculations. In addition to analyzing the contribution to the channel, the characterization of even highlighting the current situation and consequently the flow of support was made. Once characterized the situation, it was found that the channel could not stand the rain contribution, making it necessary to draw up works to increase the flow of support for the study channel, making a resizing of the same, analyzing the feasibility of its adoption.

Keywords: *urban drainage systems, economically correct methods, resizing.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ábaco para valores de K	16
Figura 2. Elementos geométricos das seções transversais.....	20
Figura 3. Borda livre.....	23
Figura 4. Divisor de água e curso d'água a partir das curvas de nível.	27
Figura 5. Seção 1 para análise do Colchão Reno.	35
Figura 6. Seção 2 para análise do Colchão Reno.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de C_2 em função da impermeabilidade do solo.	18
Tabela 2. Período de retorno para diferentes áreas de ocupação.	19
Tabela 3. Coeficiente de Manning para o tipo de superfície de escoamento.	21
Tabela 4. Critérios de Colchão Reno.	24
Tabela 5. Coeficiente de Manning recomendados pela Maccaferri.	25
Tabela 6. Declividade das seções.	26
Tabela 7. Área de contribuição por seção.	28
Tabela 8. Dados referentes a cidade de Santana da Vargem.	29
Tabela 9. Vazões de pico para cada seção.	30
Tabela 10. Vazão de suporte das seções.	31
Tabela 11. Verificação de escoamento do canal.	33
Tabela 12. Comparativo de vazões.	33
Tabela 13. Vazão das seções, conforme análise da seção 1.	35
Tabela 14. Comparativo das seções, conforme análise da seção 1.	36
Tabela 15. Vazão das seções, conforme análise da seção 2.	37
Tabela 16. Verificação de escoamento do canal, conforme análise da seção 2.	38
Tabela 17. Comparativo das seções, conforme seção 2.	38
Tabela 18. Volume de escavação por trechos.	39
Tabela 19. Área para plantio de grama.	40

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivos Gerais	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3 DIAGNÓSTICO	13
4 MEMORIAL DESCRITIVO	14
4.1 Identificação.....	14
4.2 Metodologia de projeto	14
4.3 Levantamento topográfico.....	14
4.4 Análise hidrológica	15
4.4.1 Bacia hidrográfica.....	15
4.4.2 Vazão de projeto.....	15
4.4.3 Fator de forma	16
4.4.4 Coeficiente de escoamento superficial	17
4.4.5 Tempo de concentração	18
4.4.6 Período de retorno	19
4.4.7 Intensidade de chuva	19
4.5 Análise hidráulica.....	20
4.6 Gabiões tipo Colchão Reno.....	24
5 MEMORIAL DE CÁLCULO	26
5.1 Levantamento topográfico.....	26
5.2 Área de contribuição	27
5.3 Tempo de retorno	28
5.4 Fator de forma e coeficiente de escoamento superficial.....	28
5.5 Tempo de concentração.....	29
5.6 Intensidade de chuva	29
5.7 Vazão de projeto	30
5.8 Vazão de suporte do canal	31
5.9 Verificação do escoamento.....	32
5.10 Diagnóstico dos resultados obtidos e soluções para o devido problema.....	34
6 ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS E SERVIÇOS	41
6.1 Objetivos.....	41
6.2 Redimensionamento do canal.....	41
6.2.1 Equipamentos e serviços	41
6.2.2 Execução.....	42
7 ORÇAMENTO	44
8 CONCLUSÃO.....	45

REFERÊNCIAS	46
ANEXO A.....	48
ANEXO B.....	51

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o TCC 1, o presente trabalho trata-se de um estudo do sistema de macrodrenagem para o Ribeirão Santana, localizado na cidade de Santana da Vargem, Minas Gerais, a fim de identificar e solucionar os problemas de enchentes ocorridos no mesmo.

A população da cidade que vive as margens do Ribeirão Santana, passa por diversos problemas relacionados a enchentes. O Ribeirão Santana em épocas de chuva quase sempre tem suas seções transbordadas, gerando preocupações e problemas as famílias. Em janeiro de 2013 foi constatado o maior índice de cheia do Ribeirão Santana, onde várias casas foram inundadas e famílias ficaram desabrigadas. Com isso, tornou-se importante um investimento em melhorias nesses sistemas e a colaboração de profissionais capacitados junto a administração do município para a solução de erros nos sistemas de saneamento urbano.

A princípio foi feito um estudo complexo da bacia de contribuição, junto a um levantamento topográfico do canal para estudo mais detalhado das seções do mesmo. O objetivo inicial do estudo foi detectar os possíveis erros e/ou problemas que geram o transbordamento das seções. Depois de detectados os possíveis problemas foram definidas as contribuições de chuvas para diferentes seções do canal, analisando a taxa de impermeabilidade da bacia de contribuição, através de métodos usuais de cálculos.

Em segundo momento foi feito o estudo do canal de recepção, onde com a elaboração do levantamento topográfico foi possível detalhar as suas seções atuais, seu perfil longitudinal e conseqüentemente o revestimento de suas seções. Através dos cálculos foi possível determinar o suporte de vazão para as demais seções analisar e assim fazer um comparativo com a vazão de contribuição da bacia do mesmo.

Após feitos todos os estudos referentes a bacia de contribuição nas demais seções de estudos verificou-se que o canal em sua maioria não suportava uma vazão considerável dessa contribuição. Com isso a proposta de projetos e obras de drenagem se torna muito eficaz para o estudo em questão, para minimizar e solucionar os eventos de cheias do Ribeirão Santana e assim gerar melhores condições de vida a população.

Por fim, foram elaboradas diferentes propostas de obras para a solução do problema atual do canal, onde verificou-se que a melhor situação seria o uso de revestimento em Colchão Reno, preservando a declividade atual do mesmo.

Com estudo de diferentes métodos para a solução do problema se torna fundamental para a população, que passa por vários problemas de cheias. Assim, o desenvolvimento da cidade não acarreta em problemas de cheias novamente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Elaborar um projeto para solucionar os problemas de enchentes e inundações no Ribeirão Santana, no município de Santana da Vargem, MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a área em estudo;
- Caracterizar e diagnosticar os problemas de cheias e inundações ocorridas no Ribeirão Santana em determinados locais;
- Caracterizar a bacia quanto aos parâmetros fisiográficos, área da bacia, forma, sistema ou rede de drenagem;
- Fazer análise do canal de recepção do escoamento;
- Fazer um levantamento planialtimétrico do canal de estudo;
- Analisar diferentes seções do canal;
- Definir os métodos usuais de cálculo;
- Calcular a vazão de recepção da bacia;
- Propor soluções para a minimizar os problemas de enchentes e inundações ocorridas;

3 DIAGNÓSTICO

A principal finalidade da elaboração do TCC 1 foi identificar os possíveis motivos para os eventos de enchentes, ocorridos na cidade de Santana da Vargem. Foi feito um estudo da situação atual do Ribeirão Santana, este recebe grande parte da água pluvial da cidade e de seu entorno.

A princípio foi feito um estudo da área contribuinte ao canal, caracterizando a ocupação do solo atual, determinando as áreas permeáveis e impermeáveis, além de analisar o relevo da bacia de contribuição ao mesmo.

Depois de levantar os dados referentes a bacia de contribuição foi possível a elaboração de estudos da vazão contribuinte para o canal, onde foram feitas análises para diferentes períodos de retorno e suas respectivas vazões.

Foi possível verificar que a bacia de contribuição possui uma alta taxa de permeabilidade, onde verificou-se que bacia total possui cerca de 74% de área permeável e cerca de 26% de área impermeável, e apesar disso grande quantidade de água pluvial desagua no canal, constatando-se uma vazão de contribuição da bacia total de aproximadamente 17m³/s.

Após o estudo hidrológico da área de estudo, partiu-se para a verificação da situação do canal, analisando seções diferentes, cada qual com vazões de contribuições variadas. Para a determinação da situação atual das seções analisadas, foram verificados os revestimentos atuais do canal, suas seções transversais e seu perfil longitudinal, onde foi possível determinar o suporte da vazão de água pluvial para o mesmo.

Com as análises referentes a situação do canal, constatou-se que o revestimento do canal em sua maioria era de pastagem natural, as seções transversais eram muito irregulares, com taludes em inclinações variadas e com grande chance de ocorrência de erosões nos mesmos. E ainda, verificou-se que o perfil longitudinal do canal possuía declividades praticamente constantes.

Concluída a verificação da situação atual, percebe-se que o canal em sua grande maioria se destacou por não suportar as vazões de contribuição, onde apenas três seções suportavam suas respectivas contribuições pluviais.

Exposto a real situação dos devidos problemas com as enchentes tornou-se necessário a elaboração de projetos para aumentar o suporte de vazão para este canal, sendo adotados métodos eficazes e econômicos que são adequados para a cidade em estudo.

4 MEMORIAL DESCRITIVO

4.1 Identificação

Esse projeto foi proposto para solucionar os problemas com enchentes no Ribeirão Santana, este é um canal natural que transporta grande parte da água pluvial da cidade de Santana da Vargem. O presente projeto irá detectar os devidos problemas e propor parâmetros de reparo para os mesmos, visando qualidade e custo benefício.

4.2 Metodologia de projeto

Para o projeto foram seguidas as seguintes etapas:

1. Levantamento topográfico do Ribeirão Santana.
2. Caracterização de seções e trechos específicos de estudo.
3. Determinação dos dados hidrológicos de cada seção como: área de contribuição, declividade, tempo de concentração, coeficiente de escoamento superficial, intensidade de chuva e comprimento do talvegue para cada trecho.
4. Cálculo das vazões de suporte das seções específicas a partir de suas áreas e seu coeficiente de rugosidade.
5. Diagnóstico dos dados calculados e comparativos de suporte.
6. Elaboração de soluções para o devido problema.
7. Especificações do projeto.
8. Estimativa de custo da obra.
9. Desenhos.

4.3 Levantamento topográfico

A princípio foi realizado um levantamento planialtimétrico do Ribeirão Santana onde foi possível determinar seu perfil longitudinal e suas respectivas seções transversais. Além de determinados os perfis do mesmo foi possível fazer uma análise de material composto pelo canal. O detalhe do levantamento planialtimétrico encontra-se no Anexo B.

4.4 Análise hidrológica

Segundo Tucci (1995) na busca por métodos e soluções para uma grade de problemas ambientais e sociais gerados pela urbanização, há um grande interesse em novas técnicas em estruturas de macrodrenagem, visando soluções para os devidos problemas e menores custos.

Segundo Tucci (1995) o efeito da urbanização nos últimos anos reflete nos grandes impasses sobre a sociedade, este processo afeta totalmente o sistema urbano relativo aos recursos hídricos, como, abastecimento de água, drenagem pluvial e transporte e tratamento de esgotos, compreende também o fato de enchentes e inundações.

4.4.1 Bacia hidrográfica

De acordo com Tucci (1993) a bacia hidrográfica é uma área de captação pluvial onde seu escoamento segue para um único ponto de saída, seu exutório. Esta compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes de uma rede de drenagem formada por cursos de água que se conectam até o exutório.

Segundo Gribbin (2014) os limites da bacia são denominados divisores de água e são determinados a partir da topografia da região, onde toda água captada nesta região segue seu fluxo até o curso de água.

4.4.2 Vazão de projeto

Segundo a CETESB (1980) quando a área excede 1 km², o Método de I-PAI-WU é a melhor técnica a ser utilizada, para projetos de galerias principais, respectivos pontos de despejo e para projetos de canais. Este método fornece um alto índice de confiança, baseando-se em coeficientes da região.

De acordo com Tomaz (2014) o para o cálculo da vazão seguindo o Método I-PAI-WU é conforme a equação 1:

$$Q = (0,278 \times C \times I \times A^{0,9}) \times K$$

(Equação 1)

Onde:

Q= vazão de pico (m³/s);

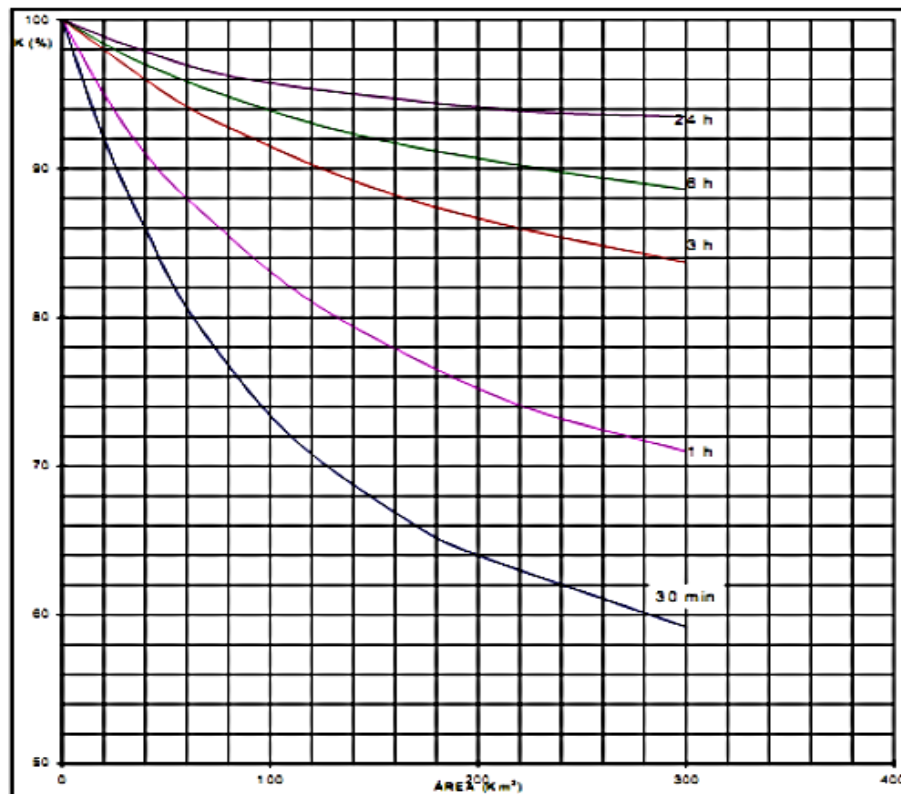
I= intensidade de chuva (mm/h);

C= coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A= área da bacia (km²);

K= coeficiente de distribuição espacial da chuva (adimensional) – Figura 1;

Figura 1. Ábaco para valores de K.



Fonte: Tomaz (2014)

4.4.3 Fator de forma

De acordo com Tomaz (2014) o fator de forma da bacia é encontrado conforme a equação 2:

$$F = \frac{L}{\left[2 \times \left(\frac{A}{\pi} \right)^{0,5} \right]}$$

(Equação 2)

Onde:

L= comprimento do talvegue (km);

A= área da bacia (km²);

F= fator de forma da bacia;

Conforme Morano (2006) quando:

F=1 a bacia tem formato circular perfeito;

F<1 a bacia tem forma circular para a elíptica e o seu dreno principal está na transversal da área;

F>1 a bacia foge da forma circular para a elíptica e o seu dreno principal está na longitudinal da área;

4.4.4 Coeficiente de escoamento superficial

Segundo Tomaz (2014) o coeficiente de escoamento superficial (C) é calculado conforme a equação 3:

$$C = \left(\frac{C_2}{C_1}\right) \times \frac{2}{(1 + F)}$$

(Equação 3)

Sendo:

C= coeficiente de escoamento superficial;

C₂= coeficiente volumétrico de escoamento, determinado pela Tabela 1;

C₁= coeficiente de forma, determinado pela equação 4;

F= fator de forma da bacia, determinado pela equação 2;

O coeficiente de forma (C₁) é definido conforme a equação 4:

$$C_1 = \frac{4}{(2 + F)}$$

(Equação 4)

O coeficiente volumétrico de escoamento é determinado conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Valores de C_2 em função da impermeabilidade do solo.

Grau de impermeabilidade da superfície	Coefficiente volumétrico de escoamento C_2
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Fonte: Tomaz (2014)

De acordo com Tucci (1995) em estudos com tempo de retorno maior que 10 anos o coeficiente de escoamento superficial necessita de uma correção em relação ao período de retorno estudado, conforme a equação 5:

$$C_T = 0,8 \times T^{0,1} \times C_{10} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

C_T = coeficiente de escoamento superficial para tempo de retorno T anos;

T= período de retorno superior a 10 anos;

C_{10} = coeficiente de escoamento superficial;

4.4.5 Tempo de concentração

De acordo com Melo, Simão, Barros e Carvalho (2010) o tempo de concentração da chuva é o tempo gasto em minutos para que uma gota d'água teórica leva para ir do ponto mais afastado da bacia até o seu exutório. (Vilela e Mattos 1978)

Segundo a Secretária Municipal de Desenvolvimento Urbano (2012) existem diversas fórmulas para determinar o tempo de concentração, em função de características físicas da bacia. O tempo de concentração pode ser encontrado conforme a equação 6:

$$tc = 57 \times \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

tc= tempo de concentração (min);

L= comprimento do talvegue (km);

S= declividade equivalente do talvegue (m/km);

4.4.6 Período de retorno

De acordo com Tucci (1995) para se estabelecer o período de retorno há grande dificuldade, pois, a escolha do mesmo afeta diretamente os valores aceitos de forma mais ou menos ampla pelo meio técnico. Os valores de período de retorno são definidos como critério de projeto para diferentes tipos de obras. A Tabela 2 define valores encontrados na literatura técnica e usufrui de um consenso internacional.

Tabela 2. Período de retorno para diferentes áreas de ocupação.

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
Microdrenagem	Aeroportos	2 – 5
Microdrenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 – 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
Macro-drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: Tucci (1995)

4.4.7 Intensidade de chuva

Segundo Carvalho e Silva (2006) a precipitação máxima é a ocorrência limite, com determinada duração e distribuição para uma determinada área ou bacia hidrográfica. A equação para a determinação da precipitação máxima pode ser expressa da seguinte forma:

$$i = \frac{KT^a}{(t + b)^c}$$

(Equação 7)

Onde:

i: intensidade máxima média da chuva (mm/h);

T: período de retorno (anos);

t: tempo de concentração da chuva (min);

k, a, b, c: coeficientes de ajustamento específicos para cada localidade;

4.5 Análise hidráulica

Segundo Gribbin (2014) em 1889, o engenheiro irlandês Robert Manning apresentou uma equação que se tornou a mais usada nos Estados Unidos, a equação é usada para determinar a velocidade de escoamento quando conhecida a seção do canal.

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) x R^{2/3} x S_o^{1/2}$$

(Equação 8)

Onde:

V= velocidade (m/s);

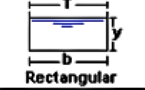

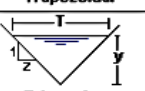
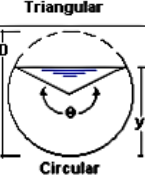
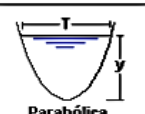
R= raio hidráulico (m);

n= coeficiente de rugosidade de Manning – Tabela 3;

So= declividade (m/m);

De acordo com Gribbin (2014) os canais podem são construídos com diferentes tipos de materiais, afetando diretamente no escoamento do canal, pois aumenta ou diminui a velocidade na superfície.

Figura 2. Elementos geométricos das seções transversais.

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fonte: Tomaz (2013)

Tomaz (2002) apresenta na Tabela 3, valores de coeficiente de Manning conforme o tipo de superfície:

Tabela 3. Coeficiente de Manning para o tipo de superfície de escoamento.

Superfície	Coeficiente de rugosidade de Manning
Plástico, vidro	0,009
Terra sem cultura	0,010
Areia	0,010
Superfície cascalhada ou coberta com pedregulho	0,012
Concreto liso	0,011
Asfalto	0,012
Terreno argiloso	0,012
Revestimento comum de concreto	0,013
Madeira boa	0,014
Tijolos assentados com cimento	0,014
Madeira não aplainada	0,014
Argila vitrificada	0,015
Ferro fundido	0,015
Terra lisa	0,018
Tubos de metal corrugado	0,023
Superfície emborrachada	0,024
Terra cultivada sem resíduo	0,09
Terra cultivado com resíduo	0,19
Gramma curta	0,15
Gramma densa	0,40
Gramma tipo Bermuda	0,41
Solo sem vegetação rasteira	0,20
Solo com pouco de vegetação rasteira	0,40
Solo com muita vegetação rasteira	0,80
Pastagem natural	0,13

Fonte: Tomaz (2002)

Segundo Gribbin (2014) como a vazão de um canal pode ser determinada pela equação da continuidade:

$$Q = V \times A$$

(Equação 9)

Sendo:

Q= vazão (m³/s);

V= velocidade de escoamento (m/s);

A= área da seção transversal (m²);

Segundo a CETESB (1980) o canal mais adequado é aquele escavado pela própria natureza, onde aparece alguns aspectos favoráveis como:

- Velocidades baixas, com isso o tempo de concentração de cheias é maior e os picos de descarga na jusante são menores.
- O armazenamento no canal favorece a redução dos picos de cheias.
- As necessidades de manutenção são pequenas, pois o canal é bastante estável.

De acordo com Gribbin (2014) para o escoamento livre, o número de Froude é um parâmetro para definir se o escoamento é crítico, subcrítico e supercrítico, este é definido por:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gxD}}$$

(Equação 10)

Onde:

F= número de Froude (adimensional);

V= velocidade característica do escoamento (m/s);

D= profundidade hidráulica (m);

g= aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

Gribbin (2014) define a profundidade hidráulica como a relação entre a área da seção de escoamento pela largura superficial.

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{T^2 \times g}}$$

(Equação 11)

Em que:

D= profundidade hidráulica (m);

Q= vazão de chuva (m³/s);

T= largura superficial do canal (m);

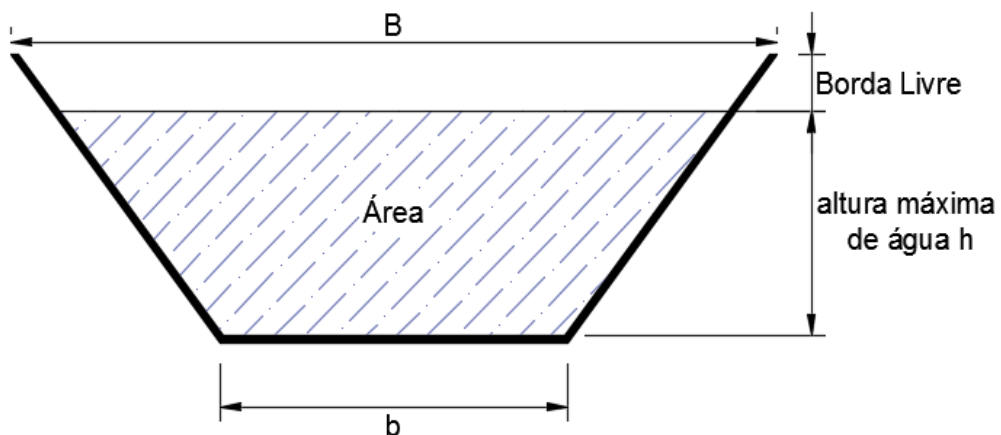
g= aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

Segundo Tucci (1995) se o valor de $F=1$, o canal está em estado crítico, onde as forças de inércia e gravitacionais estão em equilíbrio, se $F<1$, então o escoamento se encontra em estado subcrítico, onde as forças gravitacionais predominam e se $F>1$, o canal encontra-se em estado supercrítico, onde as forças de inércia predominam.

De acordo com Porto (2010) em canais abertos deve-se deixar uma folga de 20 a 30% da altura de água, acima do nível de água máximo de projeto. Essa folga é como fator de segurança para possíveis superações de vazões devido ao período de retorno e as possíveis variações de impermeabilidade da bacia.

A borda livre é definida conforme a Figura 3.

Figura 3. Borda livre.



Fonte: O autor

4.6 Gabiões tipo Colchão Reno

Segundo Tomaz (2010) o Colchão Reno são caixas de tela metálica revestidas ou não e com enchimento de pedra. As pedras são colocadas dentro da caixa que possui índice de vazios de aproximadamente 30%.

Ainda segundo Tomaz (2010) os Colchões Reno são instalados em taludes que variam de 1:1,5 a 1:2 são assentados diretamente sobre o solo protegido desde que seja estável e instalado na direção perpendicular ao canal.

De acordo com a Maccaferri (2014) os Colchões Reno atuam na proteção e no revestimento das margens dos canais. Os Colchões Reno também podem ser usados para a rápida recuperação da vegetação integrando a canalização ao meio ambiente.

Ainda segundo a Maccaferri (2014) em cursos d'água utiliza-se uma geomanta tridimensional fabricada com filamentos grossos de poliamida (nylon) que oferece uma proteção entre o lençol freático e o canal e proteção contra erosão.

A Tabela 4 fornece a espessura dos Colchões Reno bem como o diâmetro das pedras de enchimento e a velocidade crítica e limite.

Tabela 4. Critérios de Colchão Reno.

Espessura (m)	Pedras de enchimento		Velocidade crítica	Velocidade limite
	Dimensões (mm)	D50 (m)	(m/s)	(m/s)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
0,15 a 0,17	70 a 100	0,085	3,5	4,2
0,15 a 0,17	70 a 150	0,110	4,2	4,5
0,23 a 0,25	70 a 100	0,085	3,6	5,5
0,23 a 0,25	70 a 150	0,120	4,5	6,1
0,30	70 a 120	0,100	4,2	5,5
0,30	100 a 150	0,125	5,0	6,4
0,50	100 a 200	0,150	5,8	7,6
0,50	120 a 250	0,190	6,4	8,0

Fonte: Tomaz (2010)

A Tabela 5 define os valores de coeficiente de rugosidade de Manning recomendados pela Maccaferri.

Tabela 5. Coeficiente de Manning recomendados pela Maccaferri.

Ordem	Natureza da Superfície	Rugosidade n de Manning
1	Canais revestidos com colchões Reno perfeitamente impermeabilizados com mastique de betume em superfície plana e bem lisa.	0,0158
2	Canais revestidos com colchões Reno perfeitamente impermeabilizados com mastique de betume aplicado diretamente.	0,0172
3	Canais revestidos com colchões Reno consolidados com mastique de betume hidráulico que envolva as pedras superficiais.	0,0200
4	Canais revestidos com colchões Reno consolidados com mastique de betume hidráulico que penetre em profundidade.	0,0215
5	Canais revestidos com colchões Reno com material bem selecionado e colocado na obra com muito cuidado.	0,022
6	Canais revestidos com colchões Reno com material bem selecionado e colocado na obra sem cuidado.	0,0250
7	Canais revestidos com colchões Reno enchidos com material de pedreira não selecionado e colocada na obra sem cuidado.	0,0270
8	Canais revestidos com colchões Reno enchidos com material de pedreira bem selecionado e colocado na obra com cuidado.	0,0260
9	Canais revestidos com gabiões enchidos com material não selecionado e colocado na obra sem cuidado.	0,0285
10	Canais em terra em más condições de manutenção, emaranhamento de vegetação no fundo e nas margens, ou depósitos irregulares de pedras e cascalhos, ou profundas erosões irregulares. Também em canais em terra executados com escavadeira mecânica e com manutenção descuidada.	0,0303

Fonte: Tomaz (2010)

5 MEMORIAL DE CÁLCULO

5.1 Levantamento topográfico

Com a elaboração do levantamento planialtimétrico do canal foi possível identificar o perfil longitudinal do mesmo e suas respectivas seções transversais ao longo de seu percurso. Além dos perfis foi possível o estudo das declividades do fundo do canal conforme Tabela 6. Além dos dados descritos foi feito um diagnóstico do material que compõe sua estrutura.

Tabela 6. Declividade das seções.

Seção	Cota de plano	Cota de fundo	Comprimento (km)	Declividade (m/m)
Seção 1	805,515	801,383	0,931	0,0031
Seção 2	804,530	801,055	0,963	0,0033
Seção 3	804,044	800,856	1,018	0,0033
Seção 4	803,998	800,358	1,072	0,0036
Seção 5	804,686	800,076	1,108	0,0037
Seção 6	803,135	800,276	1,165	0,0034
Seção 7	805,429	800,074	1,304	0,0032
Seção 8	803,688	799,518	1,402	0,0034
Seção 9	801,534	799,163	1,496	0,0034
Seção 10	801,415	798,966	1,612	0,0033
Seção 11	800,952	798,843	1,718	0,0031
Seção 12	802,975	798,655	1,845	0,0030
Seção 13	800,688	797,425	1,950	0,0035
Seção 14	800,500	797,527	2,060	0,0033
Seção 15	800,132	797,485	2,093	0,0032
Seção 16	801,671	797,470	2,141	0,0032
Seção 17	801,572	797,345	2,316	0,0030
Seção 18	800,684	797,100	2,357	0,0030
Seção 19	800,410	797,438	2,428	0,0028
Seção 20	799,128	797,303	2,499	0,0028

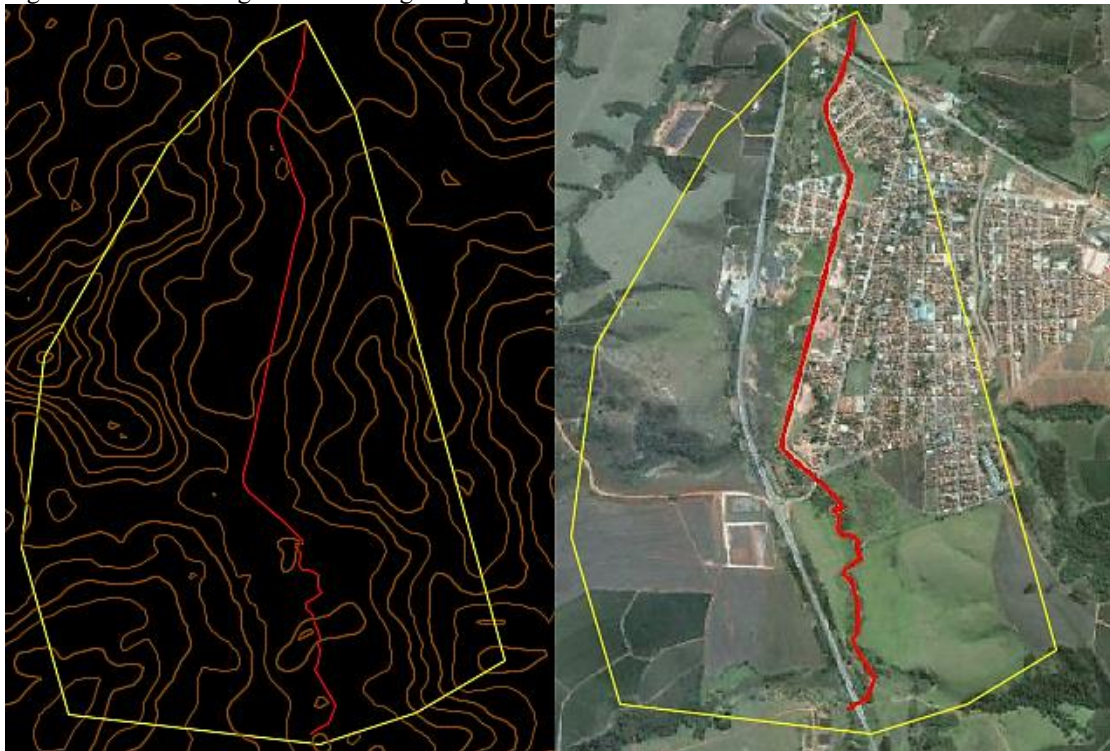
Fonte: O autor

Com essa determinação verificou-se um comprimento total de curso igual a 1568,156 m e declividade média de 0,0026 m/m.

5.2 Área de contribuição

Para a determinação das áreas de contribuições foram usados os seguintes softwares: Google Earth, Global Mapper e Auto Cad, conforme a Figura 4.

Figura 4. Divisor de água e curso d'água a partir das curvas de nível.



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor.

A princípio foram divididas as bacias de contribuições para as seções determinadas no levantamento planialtimétrico, estas seções foram analisadas separadamente, atribuindo suas respectivas áreas permeáveis e áreas impermeáveis. Além da distribuição da permeabilidade das áreas as seções foram separadas em comprimentos diferentes do canal de estudo.

Com relação as cotas e declividades dos trechos, foi feito um novo levantamento das curvas de nível no software Global Mapper, porém esse levantamento foi feito a cada um metro de cota de nível. Com isso foi possível encontrar valores reais de cotas para cada seção e a cota do fundo do início do canal igual a 804,23 e assim relacionando ao comprimento do canal, encontrou-se as devidas declividades dos trechos.

Com isso delimitou-se as determinadas áreas conforme Tabela 7.

Tabela 7. Área de contribuição por seção.

Seção	Cota de fundo	Área (km ²)	Área permeável (km ²)	Área Impermeável (km ²)
Seção 1	801,383	0,773	0,727	0,045
Seção 2	801,055	0,809	0,757	0,052
Seção 3	800,856	0,942	0,858	0,084
Seção 4	800,358	1,128	1,004	0,125
Seção 5	800,076	1,207	1,074	0,133
Seção 6	800,276	1,389	1,241	0,148
Seção 7	800,074	1,579	1,386	0,193
Seção 8	799,518	1,618	1,396	0,222
Seção 9	799,163	1,764	1,479	0,285
Seção 10	798,966	1,894	1,542	0,352
Seção 11	798,843	1,985	1,563	0,422
Seção 12	798,655	2,117	1,640	0,477
Seção 13	797,425	2,212	1,673	0,540
Seção 14	797,527	2,279	1,702	0,577
Seção 15	797,485	2,290	1,712	0,578
Seção 16	797,47	2,373	1,768	0,605
Seção 17	797,345	2,442	1,819	0,623
Seção 18	797,100	2,462	1,816	0,647
Seção 19	797,438	2,491	1,841	0,650
Seção 20	797,303	2,512	1,860	0,652

Fonte: O autor.

5.3 Tempo de retorno

O período de retorno foi adotado para 50 anos, sendo o valor mínimo para projetos de macrodrenagem como mostra a Tabela 2 e como a cidade segundo o IBGE possui cerca de apenas 7.336 habitantes, adotou-se período mínimo de retorno.

5.4 Fator de forma e coeficiente de escoamento superficial

Determinado as áreas de contribuições foram determinados os fatores de forma da bacia para cada seção e os coeficientes de escoamento superficial através das áreas apresentadas e os valores da Tabela 1.

Para a determinação foi usado como exemplo os valores da seção 1 e os métodos se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 9.

$$F = \frac{0,931}{\left[2x \left(\frac{0,773}{3,14}\right)^{0,5}\right]} \cong 0,939$$

$$C_1 = \frac{4}{(2 + 0,939)} \cong 1,361$$

$$C_2 = \frac{(0,727 \times 0,3 + 0,045 \times 0,5)}{0,733} \cong 0,312$$

$$C = \left(\frac{0,312}{1,361}\right) \times \frac{2}{(1 + 0,939)} \cong 0,236$$

$$C_T = 0,8 \times 50^{0,1} \times 0,236 \cong 0,279$$

5.5 Tempo de concentração

Para a determinação do tempo de concentração foi adotado a equação de California Culverts Practice (1942), indicada para áreas rurais maiores que 1 km², conforme os valores de declividades e comprimentos de trechos, encontrados no novo levantamento das curvas de nível feito no Global Mapper.

Para a determinação foi usado como exemplo os valores da seção 1 e os métodos se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 9.

$$tc = 57 \times \left(\frac{0,931^2}{3,06}\right)^{0,385} \cong 35,08 \text{ min}$$

5.6 Intensidade de chuva

A intensidade de chuva para a cidade de Santana da Vargem foi calculada a partir de dados retirados do software Plúvio 2.1, conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Dados referentes a cidade de Santana da Vargem.

Cidade	Latitude	Longitude	K	a	b	C
Santana da Vargem	21°14'57''	45°30'24''	6285,028	0,185	38,967	1,071

Fonte: Plúvio 2.1

Para a determinação foi usado como exemplo os valores da seção 1 e os métodos se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 9.

$$i = \frac{6285,028 \times 50^{0,185}}{(35,08 + 38,967)^{1,071}} \cong 128,938 \text{ mm/h}$$

5.7 Vazão de projeto

Para o cálculo da vazão de projeto foi adotado o Método I-PAI-WU, pela equação 1, que segundo a CETESB (1980) é recomendado para áreas de mais de 1 km². Foram usados os valores calculados anteriormente e o coeficiente de distribuição espacial de chuva, através do ábaco da Figura 1.

Para a determinação foi usado como exemplo os valores da seção 1 e os métodos se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 9.

$$Q = (0,278 \times 0,279 \times 128,938 \times 0,733^{0,9}) \times 0,98 \cong 7,782 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabela 9. Vazões de pico para cada seção.

Seção	Período de retorno	Coeficiente de escoamento	Tempo de concentração (min)	Intensidade de chuva (mm/h)	Vazão de projeto (m ³ /s)
Seção 1	50	0,279	35,079	128,938	7,782
Seção 2	50	0,280	34,967	129,146	8,134
Seção 3	50	0,306	36,418	126,486	9,993
Seção 4	50	0,312	36,676	126,024	11,944
Seção 5	50	0,312	37,091	125,289	12,613
Seção 6	50	0,312	40,067	120,242	13,747
Seção 7	50	0,313	44,739	113,070	14,537
Seção 8	50	0,313	46,367	110,761	14,545
Seção 9	50	0,316	48,579	107,766	15,463
Seção 10	50	0,319	52,210	103,176	15,914
Seção 11	50	0,322	55,687	99,122	16,094
Seção 12	50	0,322	59,657	94,855	16,332
Seção 13	50	0,323	58,932	95,608	17,213
Seção 14	50	0,323	63,119	91,414	16,877
Seção 15	50	0,322	64,157	90,429	16,721
Seção 16	50	0,322	65,796	88,915	16,986
Seção 17	50	0,319	71,550	83,966	16,286
Seção 18	50	0,319	72,015	83,589	16,363
Seção 19	50	0,318	75,955	80,524	15,851
Seção 20	50	0,316	77,930	79,067	15,603

Fonte: O autor.

5.8 Vazão de suporte do canal

Para a determinação da vazão de suporte do canal foi usada as equações 8 e 9, seguindo os parâmetros encontrados através do levantamento topográfico como a área, perímetro e raio hidráulico calculados no software AutoCad enquanto o coeficiente de rugosidade “n” foi determinado através das análises feitas durante o levantamento topográfico, seguindo os valores da Tabela 3.

Como as seções transversais do canal são muito irregulares, os parâmetros de área, perímetro e raio hidráulico da seção foram calculados a partir do topo do talude de menor cota, devido este ter maior tendência a transbordar.

Os cálculos de base foram feitos para a seção 1 e se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 10.

- Seção 1:

Área molhada = 50,132 m²

Perímetro molhado = 20,726 m

Raio hidráulico = 2,419 m

O coeficiente de rugosidade do canal foi analisado como sendo um solo de pastagem natural em todo seu trecho. Com isso foi adotado o valor de $n = 0,13$.

As declividades das seções já foram abordadas anteriormente para as análises hidrológicas. Com isso determinou-se:

$$V = \frac{1}{0,13} \times 2,419^{\frac{2}{3}} \times 0,0031^{\frac{1}{2}} \cong 0,767 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,767 \times 50,132 \cong 38,427 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabela 10. Vazão de suporte das seções.

Seção	Raio Hidráulico (m)	Coeficiente de rugosidade	Declividade (m/m)	Velocidade de escoamento (m/s)	Vazão da seção (m ³ /s)
Seção 1	2,419	0,13	0,0031	0,767	38,427
Seção 2	1,362	0,13	0,0033	0,543	12,492
Seção 3	1,294	0,13	0,0033	0,526	9,384
Seção 4	1,331	0,13	0,0036	0,559	10,651

Seção 5	1,359	0,13	0,0037	0,578	9,998
Seção 6	1,087	0,13	0,0034	0,474	6,822
Seção 7	1,825	0,13	0,0032	0,649	19,528
Seção 8	1,685	0,13	0,0034	0,631	16,291
Seção 9	1,593	0,13	0,0034	0,611	6,854
Seção 10	0,883	0,13	0,0033	0,405	4,794
Seção 11	1,059	0,13	0,0031	0,448	6,309
Seção 12	2,248	0,13	0,0030	0,726	30,502
Seção 13	1,341	0,13	0,0035	0,553	10,304
Seção 14	1,009	0,13	0,0033	0,441	5,326
Seção 15	1,044	0,13	0,0032	0,449	6,331
Seção 16	1,736	0,13	0,0032	0,624	15,475
Seção 17	1,269	0,13	0,0030	0,492	7,233
Seção 18	1,574	0,13	0,0030	0,572	15,020
Seção 19	1,462	0,13	0,00280	0,524	11,464
Seção 20	1,269	0,13	0,0028	0,475	10,616

Fonte: O autor.

5.9 Verificação do escoamento

Com os dados abordados, surge a necessidade de averiguação do escoamento do canal e verificação da profundidade hidráulica do escoamento, conforme as equações 10 e 11.

Os dados de largura superficial do canal foram retirados no software AutoCad através dos dados das seções a partir do levantamento topográfico.

Os cálculos de base foram feitos para a seção 1 e se repetem para as demais seções que serão observadas na Tabela 11.

$$D = \sqrt[3]{\frac{38,427^2}{16,42^2 \times 9,81}} \cong 0,823m$$

$$F = \frac{0,767}{\sqrt{9,81 \times 0,823}} \cong 0,270$$

Com isso verifica-se que o estado de escoamento está no estado subcrítico, onde as forças gravitacionais predominam e não geram problemas a jusante do canal.

Tabela 11. Verificação de escoamento do canal.

Seção	Comprimento Superficial (m)	Prof. de escoamento (m)	Número de Froude	Estado de escoamento	Verificação
Seção 1	16,42	0,823	0,270	Subcrítico	Ok
Seção 2	14,64	0,420	0,267	Subcrítico	Ok
Seção 3	10,63	0,430	0,256	Subcrítico	Ok
Seção 4	11,53	0,443	0,268	Subcrítico	Ok
Seção 5	8,65	0,514	0,257	Subcrítico	Ok
Seção 6	10,86	0,343	0,258	Subcrítico	Ok
Seção 7	12,83	0,618	0,263	Subcrítico	Ok
Seção 8	11,71	0,582	0,264	Subcrítico	Ok
Seção 9	8,82	0,395	0,310	Subcrítico	Ok
Seção 10	11,03	0,268	0,250	Subcrítico	Ok
Seção 11	10,82	0,326	0,250	Subcrítico	Ok
Seção 12	9,00	1,054	0,226	Subcrítico	Ok
Seção 13	10,43	0,463	0,259	Subcrítico	Ok
Seção 14	8,95	0,330	0,245	Subcrítico	Ok
Seção 15	9,84	0,348	0,243	Subcrítico	Ok
Seção 16	9,06	0,667	0,244	Subcrítico	Ok
Seção 17	8,52	0,419	0,243	Subcrítico	Ok
Seção 18	14,19	0,485	0,262	Subcrítico	Ok
Seção 19	11,87	0,456	0,248	Subcrítico	Ok
Seção 20	15,76	0,359	0,253	Subcrítico	Ok

Fonte: O autor.

Depois de levantados os dados foi feito o comparativo das vazões de contribuição e das vazões de suporte das seções do canal conforme a Tabela 12.

Tabela 12. Comparativo de vazões.

Seção	Vazão da seção (m ³ /s)	Vazão de contribuição (m ³ /s)	Comparativo
Seção 1	38,427	7,782	Suporta
Seção 2	12,492	8,134	Suporta
Seção 3	9,384	9,993	Não suporta
Seção 4	10,651	11,944	Não suporta
Seção 5	9,998	12,613	Não suporta
Seção 6	6,822	13,747	Não suporta
Seção 7	19,528	14,537	Suporta
Seção 8	16,291	14,545	Suporta
Seção 9	6,854	15,463	Não suporta
Seção 10	4,794	15,914	Não suporta
Seção 11	6,309	16,094	Não suporta
Seção 12	30,502	16,332	Suporta

Seção 13	10,304	17,213	Não suporta
Seção 14	5,326	16,877	Não suporta
Seção 15	6,331	16,721	Não suporta
Seção 16	15,475	16,986	Não suporta
Seção 17	7,233	16,286	Não suporta
Seção 18	15,020	16,363	Não suporta
Seção 19	11,464	15,851	Não suporta
Seção 20	10,616	15,603	Não suporta

Fonte: O autor.

5.10 Diagnóstico dos resultados obtidos e soluções para o devido problema

A partir dos dados levantados verifica-se que o canal estudado praticamente não suporta a vazão de contribuição. É importante ressaltar que com a verificação apenas algumas seções possuem suporte para a vazão de contribuição, dentre essas seções, duas são seções de pontes de passagem de veículos, com isso são mais elevadas.

Com relação as velocidades de escoamento verificaram-se que essas estão de acordo, pois estão em estado subcrítico de escoamento o que não gera consequências a montante do canal.

Várias são as medidas que podem ser adotadas para solução do problema, como a alteração ou alargamento da seção transversal do canal, onde haverá a necessidade de escavação das paredes laterais, controle topográfico para os devidos alargamento e cotas e o controle da inclinação do talude, caso permanecer em seção trapezoidal. Outra alternativa é a alteração das paredes das seções, alterando a rugosidade, aumenta-se a velocidade e com isso aumenta-se o suporte a vazão.

Foram feitas verificações para a elaboração de escavação e alargamento das seções, porém verificou-se que com o alargamento da seção está terá seu coeficiente de rugosidade aumentado para $n=0,20$ devido uso do solo natural. Ainda seguindo as verificações, destaca-se algumas seções de altura de nível de água baixos onde haveria a necessidade de grandes alargamentos de bases. Com isso, a obra seria inviável para o determinado canal.

A proposta abordada para a solução dos problemas do canal, foi a alteração da rugosidade do canal, onde o canal que era de pastagem natural de $n=0,13$, alterou-se para um canal de Colchão Reno com rugosidade de $n=0,0303$, devido uso de escavadeiras mecânicas para a elaboração e uma possível manutenção descuidada.

O canal teve sua declividade preservada e suas seções alteradas visando menores escavações e aterros, alterando as inclinações dos taludes para 1:1,5. Com as seções e as

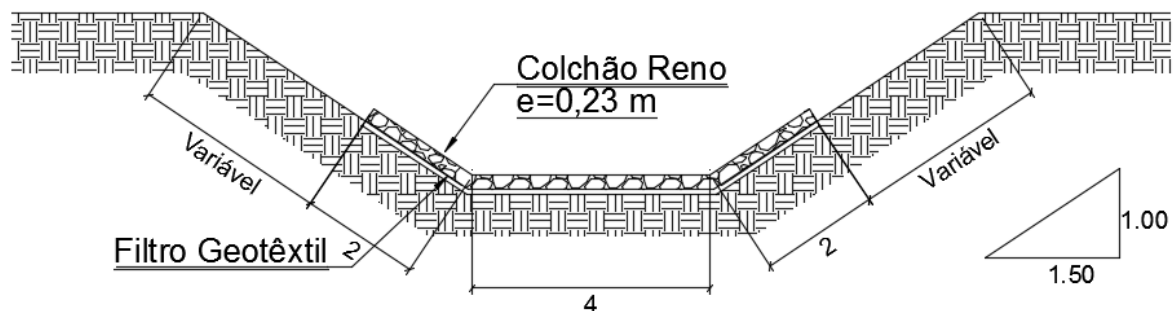
inclinações alteradas alguns trechos teriam suporte a vazão de contribuição sem o uso de Colchão Reno, porém por efeito de projeto esses trechos também receberam o revestimento, pois com o uso do Colchão Reno as velocidades de escoamento aumentam e chegariam a esses trechos com altas velocidades o que acarretariam em possíveis erosões dessas seções.

Para a determinação das seções de Colchão Reno foram verificadas as peças disponíveis no mercado, onde destacou-se que as larguras de todas as peças são de dois metros, variando apenas os comprimentos e alturas.

A princípio foi determinado para as seções ideais a largura de base igual a quatro metros, pois com isso não haverá a necessidade de aterro na base, o que acarretaria em um alargamento maior da seção para a compactação ideal. Determinada a seção de base foi feita a inclinação do talude em 1:1,5 e assim analisado a quantidade eficiente de Colchão Reno para o revestimento do talude.

A primeira análise foi determinada conforme a seção da Figura 5.

Figura 5. Seção 1 para análise do Colchão Reno.



Fonte: O autor.

Com a determinada seção foi feita a verificação de suporte para o escoamento apenas na seção composta pelo Colchão Reno. Os cálculos de suporte da vazão das seções alteradas e as demais verificações foram feitas conforme os cálculos já abordados no presente projeto e seguem conforme as Tabelas 13 e 14.

Tabela 13. Vazão das seções, conforme análise da seção 1.

Seção	V:H	RH (m)	"n"	I (m/m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
Seção 1	1:1,5	0,785	0,0303	0,0031	1,567	9,845
Seção 2	1:1,5	0,785	0,0303	0,0034	1,637	10,288
Seção 3	1:1,5	0,785	0,0303	0,0037	1,717	10,791
Seção 4	1:1,5	0,785	0,0303	0,0036	1,696	10,656
Seção 5	1:1,5	0,785	0,0303	0,0037	1,720	10,810

Seção 6	1:1,5	0,785	0,0303	0,0037	1,712	10,757
Seção 7	1:1,5	0,785	0,0303	0,0032	1,595	10,025
Seção 8	1:1,5	0,785	0,0303	0,0034	1,629	10,235
Seção 9	1:1,5	0,785	0,0303	0,0035	1,655	10,402
Seção 10	1:1,5	0,785	0,0303	0,0033	1,605	10,088
Seção 11	1:1,5	0,785	0,0303	0,0033	1,617	10,159
Seção 12	1:1,5	2,205	0,0303	0,0034	3,240	133,570
Seção 13	1:1,5	0,785	0,0303	0,0035	1,660	10,428
Seção 14	1:1,5	0,785	0,0303	0,0033	1,603	10,072
Seção 15	1:1,5	0,785	0,0303	0,0033	1,608	10,101
Seção 16	1:1,5	0,785	0,0303	0,0032	1,602	10,065
Seção 17	1:1,5	0,785	0,0303	0,0031	1,560	9,802
Seção 18	1:1,5	0,785	0,0303	0,0031	1,553	9,757
Seção 19	1:1,5	0,785	0,0303	0,0030	1,551	9,744
Seção 20	1:1,5	0,785	0,0303	0,0028	1,481	9,305

Fonte: O autor.

Tabela 14. Comparativo das seções, conforme análise da seção 1.

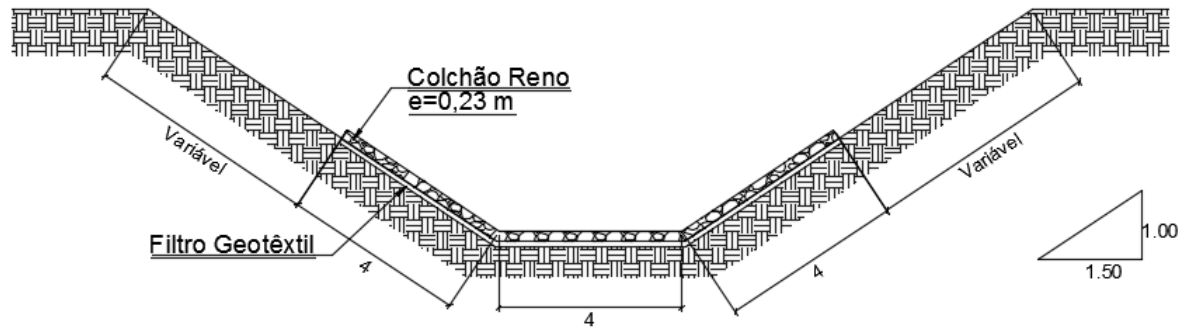
Seção	Vazão da seção (m ³ /s)	Vazão de contribuição (m ³ /s)	Comparativo
Seção 1	9,845	7,782	Suporta
Seção 2	10,288	8,134	Suporta
Seção 3	10,791	9,993	Suporta
Seção 4	10,656	11,944	Não suporta
Seção 5	10,810	12,613	Não suporta
Seção 6	10,757	13,747	Não suporta
Seção 7	10,025	14,537	Não suporta
Seção 8	10,235	14,545	Não suporta
Seção 9	10,402	15,463	Não suporta
Seção 10	10,088	15,914	Não suporta
Seção 11	10,159	16,094	Não suporta
Seção 12	133,570	16,332	Suporta
Seção 13	10,428	17,213	Não suporta
Seção 14	10,072	16,877	Não suporta
Seção 15	10,101	16,721	Não suporta
Seção 16	10,065	16,986	Não suporta
Seção 17	9,802	16,286	Não suporta
Seção 18	9,757	16,363	Não suporta
Seção 19	9,744	15,851	Não suporta
Seção 20	9,305	15,603	Não suporta

Fonte: O autor.

Com isso verifica-se que a determinada seção de Colchão Reno não suporta a vazão de contribuição.

A segunda seção analisada foi determinada visando a execução das peças, não havendo cortes das mesmas. Para isso as peças dos taludes que na primeira seção usava-se apenas uma, adotou-se mais uma caixa para a seção. Com isso a seção analisada ficou conforme a Figura 6.

Figura 6. Seção 2 para análise do Colchão Reno.



Fonte: O autor.

Com a determinada seção foi feita a verificação de suporte para o escoamento apenas na seção composta pelo Colchão Reno. Os cálculos de suporte da vazão das seções alteradas e as demais verificações foram feitas conforme os cálculos já abordados no presente projeto e seguem conforme as Tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 15. Vazão das seções, conforme análise da seção 2.

Seção	V:H	RH (m)	"n"	I (m/m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
Seção 1	1:1,5	1,355	0,0303	0,0031	2,254	36,644
Seção 2	1:1,5	1,355	0,0303	0,0034	2,355	38,290
Seção 3	1:1,5	1,355	0,0303	0,0037	2,470	40,165
Seção 4	1:1,5	1,355	0,0303	0,0036	2,439	39,660
Seção 5	1:1,5	1,355	0,0303	0,0037	2,474	40,232
Seção 6	1:1,5	1,355	0,0303	0,0037	2,462	40,035
Seção 7	1:1,5	1,355	0,0303	0,0032	2,295	37,311
Seção 8	1:1,5	1,355	0,0303	0,0034	2,343	38,094
Seção 9	1:1,5	1,355	0,0303	0,0035	2,381	38,717
Seção 10	1:1,5	1,355	0,0303	0,0033	2,309	37,547
Seção 11	1:1,5	1,355	0,0303	0,0033	2,325	37,810
Seção 12	1:1,5	2,205	0,0303	0,0034	3,240	133,570
Seção 13	1:1,5	1,355	0,0303	0,0035	2,387	38,813
Seção 14	1:1,5	1,355	0,0303	0,0033	2,306	37,488
Seção 15	1:1,5	1,355	0,0303	0,0033	2,312	37,596
Seção 16	1:1,5	1,355	0,0303	0,0032	2,304	37,461
Seção 17	1:1,5	1,355	0,0303	0,0031	2,244	36,483
Seção 18	1:1,5	1,355	0,0303	0,0031	2,233	36,314
Seção 19	1:1,5	1,355	0,0303	0,0030	2,231	36,268

Seção 20 1:1,5 1,355 0,0303 0,0028 2,130 34,633

Fonte: O autor.

Tabela 16. Verificação de escoamento do canal, conforme análise da seção 2.

Seção	Comprimento Superficial (m)	Prof. de escoamento (m)	Número de Froude	Estado de escoamento	Verificação
Seção 1	10,656	1,064	0,697	Subcrítico	Ok
Seção 2	10,656	1,096	0,718	Subcrítico	Ok
Seção 3	10,656	1,131	0,741	Subcrítico	Ok
Seção 4	10,656	1,122	0,735	Subcrítico	Ok
Seção 5	10,656	1,133	0,742	Subcrítico	Ok
Seção 6	10,656	1,129	0,740	Subcrítico	Ok
Seção 7	10,656	1,077	0,706	Subcrítico	Ok
Seção 8	10,656	1,092	0,716	Subcrítico	Ok
Seção 9	10,656	1,104	0,724	Subcrítico	Ok
Seção 10	10,656	1,082	0,709	Subcrítico	Ok
Seção 11	10,656	1,087	0,712	Subcrítico	Ok
Seção 12	9,00	2,821	0,616	Subcrítico	Ok
Seção 13	10,656	1,106	0,725	Subcrítico	Ok
Seção 14	10,656	1,081	0,708	Subcrítico	Ok
Seção 15	10,656	1,083	0,709	Subcrítico	Ok
Seção 16	10,656	1,080	0,708	Subcrítico	Ok
Seção 17	10,656	1,061	0,695	Subcrítico	Ok
Seção 18	10,656	1,058	0,693	Subcrítico	Ok
Seção 19	10,656	1,057	0,693	Subcrítico	Ok
Seção 20	10,656	1,025	0,672	Subcrítico	Ok

Fonte: O autor.

Tabela 17. Comparativo das seções, conforme seção 2.

Seção	Vazão da seção (m³/s)	Vazão de contribuição (m³/s)	Comparativo
Seção 1	36,644	7,782	Suporta
Seção 2	38,290	8,134	Suporta
Seção 3	40,165	9,993	Suporta
Seção 4	39,660	11,944	Suporta
Seção 5	40,232	12,613	Suporta
Seção 6	40,035	13,747	Suporta
Seção 7	37,311	14,537	Suporta
Seção 8	38,094	14,545	Suporta
Seção 9	38,717	15,463	Suporta
Seção 10	37,547	15,914	Suporta
Seção 11	37,810	16,094	Suporta
Seção 12	133,570	16,332	Suporta
Seção 13	38,813	17,213	Suporta

Seção 14	37,488	16,877	Suporta
Seção 15	37,596	16,721	Suporta
Seção 16	37,461	16,986	Suporta
Seção 17	36,483	16,286	Suporta
Seção 18	36,314	16,363	Suporta
Seção 19	36,268	15,851	Suporta
Seção 20	34,633	15,603	Suporta

Fonte: O autor.

As seções de revestimento de Colchão Reno foram constantes para todo o trecho do canal, onde todas as seções suportam as vazões de contribuição, considerando também uma borda livre de segurança. As velocidades encontradas respeitam as velocidades críticas e limites para o tipo de material.

Os volumes de escavação das seções foram determinados conforme média de escavação entre as seções e chegou-se aos valores conforme a Tabela 18.

Tabela 18. Volume de escavação por trechos.

Trecho	Volume de escavação (m ³)
1 – 2	235,24955
2 – 3	673,57916
3 – 4	527,32637
4 – 5	1131,3056
5 – 6	2790,1503
6 – 7	1497,3393
7 – 8	1672,9744
8 – 9	1757,2836
9 – 10	1086,421
10 – 11	1163,9454
11 – 12	508,08683
12 – 13	851,61412
13 – 14	528,96071
14 – 15	651,94562
15 – 16	3359,2259
16 – 17	845,81196
17 – 18	841,57454
18 – 19	794,09941
19 – 20	392,1322
Total	21309,03

Fonte: O autor.

Para finalizar o revestimento do canal, será feito o plantio de grama nas paredes do talude acima dos Colchões Reno, visando a contenção de erosão do talude.

A área de plantio de grama foi determinada conforme a média entre as seções e chegou-se aos valores conforme a Tabela 19.

Tabela 19. Área para plantio de grama.

Trecho	Área de grama (m ²)
1 – 2	224,89
2 – 3	240,64
3 – 4	176,74
4 – 5	364,79
5 – 6	791,36
6 – 7	652,19
7 – 8	797,68
8 – 9	609,10
9 – 10	259,05
10 – 11	253,03
11 – 12	111,26
12 – 13	273,69
13 – 14	151,25
14 – 15	158,44
15 – 16	984,19
16 – 17	289,47
17 – 18	384,45
18 – 19	403,61
19 – 20	180,59
Total	7306,45

Fonte: O autor.

6 ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS E SERVIÇOS

6.1 Objetivos

A especificação tem por objetivo definir o redimensionamento do canal, verificação das novas seções e controle de materiais e serviços para a execução do mesmo.

6.2 Redimensionamento do canal

O canal terá suas seções regularizadas e seu revestimento em Colchão Reno.

6.2.1 Equipamentos e serviços

Para a execução da escavação e acerto dos taludes do canal será necessário o uso dos equipamentos e serviços:

- Equipe de topografia;
- Escavadeira hidráulica;
- Servente para escavação manual para acerto de base;
- Caminhão basculante;

Para a colocação, enchimento, arrumação e fechamento dos gabiões é necessário a uso dos equipamentos e serviços:

- Escavadeira hidráulica;
- Serventes;
- Luvas;
- Alicates normal;
- Alicates de corte;
- Alicates e cortadora tipo "telegrafista";
- Pequena alavanca;
- Marreta de 1,0kg;
- Caminhão basculante;

a) Arames:

Todo arame utilizado na fabricação do colchão Reno e nas operações de amarração e atirantamento deve ser de aço doce recozido, de acordo com as especificações NBR 8.964,

ASTM A641M-98 e NB 709-00, e deverá ter: tensão de ruptura média de 38 kg/mm² a 48 kg/mm²; revestimento de liga zinco-5% alumínio (Zn 5 Al MM), de acordo com as especificações da ASTM A856M-98; de acordo com as especificações NBR 8.964 e ASTM A641M-98, o alongamento não deverá ser menor do que 12%; e recobrimento plástico à base de PVC, com características iniciais de acordo com as especificações da NBR 10.514, NB 710-00 e NP 17 055 00.

b) Telas:

Devem ser em malha hexagonal de dupla torção, de acordo com as especificações da NBR 10.514, NB 710-00 e NP 17 055 00. As dimensões da malha são do tipo 6 x 8. O diâmetro do arame utilizado na fabricação da malha deve ser de 2 mm e de 2,4 mm para as bordas.

c) Colchão:

Base, tampa, diafragmas e paredes laterais e das extremidades devem ser formadas a partir de um único pano de tela. Cada diafragma de parede dupla, formado a partir de dobras no pano da base, deve apresentar, em sua parte inferior, quatro espirais de união em arame de diâmetro 2 mm recoberto com PVC.

Para a execução do plantio de grama nas seções do talude acima do Colchão Reno será necessário a utilização dos equipamentos e serviços:

- Gramas do tipo esmeralda;
- Serventes;
- Estacas;
- Marreta de 1,0kg;

6.2.2 Execução

- a) Serviços preliminares: Após a locação da obra, procede-se aos serviços preliminares de implantação de estrutura. Será feito o processo de dragagem do canal, para área de até 150m, para um melhor escoamento. A área próxima ao canal deverá ser interditada e possuir espaço necessário para a movimentação de veículos e trabalhadores. O canal deverá passar por um processo de limpeza, retirando a qual vegetação presente no mesmo.
- b) Locação: A locação das seções do canal deverá ser feita por equipe de topografia, demarcando os pontos de base, início e fim do talude, através do levantamento topográfico e das inclinações de talude presentes no projeto. As demarcações serão

feitas através de estacas definindo a quantidade correta de escavação e/ou acerto e possíveis aterros, que deverão ser verificados por profissional capacitado. A equipe de topografia deverá permanecer na obra diariamente para possíveis dúvidas de cotas e a elaboração correta do talude.

- c) Escavação: A escavação será realizada por escavadeira hidráulica, onde será regularizado a base e taludes, onde devem ser implantados os gabiões, de maneira que se tenha uma superfície suficientemente plana para a sua implantação. Os taludes deverão ter inclinação de 1:1,5 que será controlada por meio de uma equipe de topografia. A escavação e acerto da base da seção será feita por processo manual de forma que a base ofereça apoio correto para a implantação do Colchão Reno.
- d) Carga e descarga: O carregamento do material retirado da escavação do canal será feito por meio de pá carregadeira e caminhão basculante, que transportará o material para a área de bota-fora.
- e) Colchão Reno: A implantação do Colchão Reno será feita conforme especificação da Maccaferri, informadas no Apêndice A.
- f) Plantio da grama: O plantio da grama no talude, acima do Colchão Reno será feito por equipe especializada, espalhando os tapetes de gramas. Para a fixação dos tapetes no talude será utilizado estacas de no máximo 20 cm que servirá como apoio até que a grama brote e crie suas raízes no talude.

7 ORÇAMENTO

Os dados para o orçamento da obra foram retirados das tabelas do SINAPI de setembro de 2016. Para o orçamento prévio da obra não será adotado o uso de BDI.

ORÇAMENTO

Código	Descrição	Unid	Preço Unit.	Quant.	Preço Total
92756	PROTEÇÃO SUPERFICIAL DE CANAL EM GABIÃO TIPO COLCHÃO, ALTURA DE 23 CENTÍMETROS, ENCHIMENTO COM PEDRA DE MÃO TIPO RACHÃO - FORNECIMENTO E EXECUÇÃO. AF_12/2015	M²	R\$ 128,94	18.817,87	R\$ 2.426.332,95
83336	ESCAVACAO MECANICA PARA ACERTO DE TALUDES, EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA, COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	M³	R\$ 3,71	21.309,03	R\$ 78.999,20
74010/1	CARGA E DESCARGA MECANICA DE SOLO UTILIZANDO CAMINHAO BASCULANTE 6,0M3/16T E PA CARREGADEIRA SOBRE PNEUS 128 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 1,7 A 2,8 M3, PESO OPERACIONAL 11632 KG	M³	R\$ 1,46	21.309,03	R\$ 30.959,67
85180	PLANTIO DE GRAMA ESMERALDA EM ROLO	M²	R\$ 9,65	7.306,45	R\$ 70.515,28
ORÇAMENTO TOTAL DA OBRA					R\$ 2.606.807,10

8 CONCLUSÃO

Após realizado os estudos é relevante que o canal estudado certamente não suportava a vazão de contribuição da região por possuir vários pontos que dificultavam no escoamento do canal, e este passava por grandes problemas de cheias.

Depois de vários métodos estudados para correção dos problemas, destacou-se o uso do Colchão Reno como revestimento do canal. Com isso a velocidade de escoamento será maior e consequentemente a capacidade de suporte para a vazão será maior.

O Colchão deverá ser instalado de forma que compreenda apenas uma seção para o suporte das vazões de contribuição, agindo também com suporte consideravelmente maior e facilidade de mão-de-obra. Assim, com a instalação haverá um volume de escavação menor, comparado com o alargamento da seção, e assim maior preservação das margens do canal.

Com a adoção do método, destacou-se um grande aumento de suporte de vazão para o canal, onde verificou-se que a contribuição da bacia com período de retorno máximo igual a 100 anos a canal projetado também suportaria a vazão do mesmo. Com isso, conclui-se que a adoção do método foi completamente viável, tanto no aspecto de elaboração quanto em aspecto de viabilidade econômica e assim busca-se melhorias para a população e desenvolvimento da cidade, que não vivenciará enchentes nos dias de grandes precipitações.

REFERÊNCIAS

PORTO Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. 4ª edição, São Carlos: EESC- USP, 2006.

CARVALHO, Daniel F. e SILVA, Leonardo D. B. **Bacia Hidrográfica**. Cap.3. 2006. 18p.

CETESB. **Drenagem Urbana**. 2ªedição, São Paulo: DAFE/CETESB, 1980.

GRIBBIN, John E. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. 4ª edição, São Paulo: Cengage Learning, 2014.

MELO, Aline, SIMÃO, Izolda, BARROS, Karina e CARVALHO, Neiza. **Comparativo do Tempo de Concentração no Resultado da Vazão de uma Bacia Hidrográfica, Através do Método Racional**. 2010. 48p.

RIGHETTO, Antônio M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 1ªedição, Rio de Janeiro: ABES, 2009.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. 2002. 452p.

TOMAZ, Plínio. **Fórmula de Manning e Canais**. Cap.50. 2013. 70p.

TOMAZ, Plínio. **Método de I-PAI-WU**. Cap.66. 2014. 10p.

TOMAZ, Plínio. **Período de Retorno**. Cap.3. 2015. 9p.

TUCCI, Carlos. **Drenagem Urbana**. 1ªedição, Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

TUCCI, Carlos. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ªedição, Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 1993.

SECRETÁRIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: Aspectos Tecnológicos, Fundamentos**. Volume 2, São Paulo: SMDU, 2012.

História da cidade de Santana da Vargem, MG. Disponível em:
<<http://www.santanadavargem.mg.gov.br/#>>. Acesso em 08 de Maio de 2016

Precipitação de chuva das cidades de Coqueiral, Três Pontas e Campos Gerais. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em 30 de Abril de 2016

TOMAZ, Plínio. **Revestimento de canais com gabião colchão reno**. Cap.63. 2010. 16p.

Especificação de serviço – DERBA. Disponível em:

.<<http://www.derba.ba.gov.br/download/oe/oe21.pdf>>. Acesso em 20 de Outubro de 2016

Infraestrutura Urbana – Soluções técnicas – Colchão Reno. Disponível em:

<<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/31/1-colchao-reno-as-recomendacoes-para-a-montagem-do-296606-1.aspx>>. Acesso em 20 de outubro de 2016

ANEXO A
ESPECIFICAÇÕES MACCAFERRI

De acordo com a Maccaferri as especificações de serviço de Colchão Reno são conforme:

1) Montagem:

Deve-se retirar a base de cada peça do fardo e transportá-la ainda dobrada ao local da montagem, onde então deve ser desdobrada sobre uma superfície rígida e plana. Em seguida, todas as irregularidades dos painéis são retiradas até que se obtenha o comprimento nominal da peça. Na dobra, os cortes servem como guias para a definição da altura do colchão. As paredes dos diafragmas que ficarem abertas devem ser unidas, e as paredes laterais e os diafragmas, posicionados em vertical. É aconselhável a utilização de um sarrafo de madeira para o perfeito alinhamento da dobra. Uma vez posicionadas as paredes longitudinais na vertical, formam-se abas a partir das paredes transversais, que devem ser dobradas e amarradas às paredes longitudinais, usando os arames de maior diâmetro. As partes dobradas das paredes longitudinais devem ser amarradas aos diafragmas, usando o arame enviado junto com os colchões, de tal maneira que essas dobras coincidam e se fixem aos diafragmas. Assim, o colchão ficará separado por células a cada metro.

2) Instalação:

Depois de montados, os colchões devem ser transportados até o local definido em projeto, posicionados apropriadamente e costurados entre si. Caso o talude seja muito inclinado, a instalação dos colchões deve ser feita com o auxílio de elementos que garantam sua estabilidade, como estacas de madeira e grampos. O talude deve ser geotecnicamente estável, previamente preparado e nivelado. Por isso, devem ser extraídas raízes, pedras e qualquer material que se sobressaia e preencha eventuais depressões. Durante a montagem dos colchões, devem ser colocados tirantes verticais que unem a tampa à base dos elementos, auxiliando o confinamento do material de enchimento e minimizando a possibilidade de deformações durante a vida de serviço do revestimento. Os tirantes são obtidos a partir do atravessamento da parte central de um pedaço de arame de amarração - cujo comprimento deve ser de aproximadamente quatro vezes a espessura do colchão - por duas torções (quatro arames) da base, deixando as extremidades na posição vertical.

3) Enchimento:

Quando instalado em terrenos inclinados, os colchões devem ser preenchidos a partir da parte inferior do talude. As pedras devem ser colocadas apropriadamente para reduzir ao

máximo o índice de vazios, assim como previsto em projeto, entre 25% e 30%. O tamanho das pedras deve ser mais homogêneo e levemente superior às aberturas das malhas do colchão, a fim de garantir, no mínimo, duas camadas de pedras, melhor acabamento e facilitar o enchimento. O preenchimento de cada célula deve exceder sua altura em aproximadamente 3 cm.

4) Fechamento:

Depois de completado o preenchimento dos colchões, devem ser trazidas até o local de instalação as tampas ainda dobradas. Cada tampa deve ser dobrada e estendida sobre o respectivo colchão. Depois de amarrada em uma das bordas, a tampa é puxada e amarrada ao longo das outras bordas, sendo unida também aos diafragmas e aos tirantes verticais. A amarração deve, sempre que possível, unir a borda do colchão vizinho.

ANEXO B
DESENHOS

PERFIL LONGITUDINAL