

N. CLASS. 627.42
CUTTER L732a
ANO/EDIÇÃO 2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

UNIS/MG

ENGENHARIA CIVIL

TIAGO AUGUSTO LIMA

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E MEDIDAS DE CONTROLE PARA AS
ENCHENTES DE ITAJUBÁ-MG**

**Varginha
2015**

TIAGO AUGUSTO LIMA

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E MEDIDAS DE CONTROLE PARA AS
ENCHENTES DE ITAJUBÁ-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil, sob orientação do Prof. Leopoldo Uberto Ribeiro Júnior

**Varginha
2015**

Grupo Educacional UNIS

TIAGO AUGUSTO LIMA

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E MEDIDAS DE CONTROLE PARA AS
ENCHENTES DE ITAJUBÁ-MG**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Prof. Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro Júnior

Prof. Ms. Ivana Prado de Vasconcelos

Prof. Leopoldo Freire Bueno

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me permitir chegar até aqui, por me fazer Seu filho, e por me amar incondicionalmente. À minha família por me apoiar a todo instante para com minhas escolhas, e pelos momentos em que me consolaram quando vinha o desespero. A meus amigos, pelas orações e o companheirismo. A meu orientador Prof. Leopoldo Uberto Ribeiro Júnior, pela paciência e principalmente auxílio para com este trabalho.

“...Ainda que eu ande pelo vale, e o
atravesse a sombra da morte, cuidas de
mim, mesmo que eu não queira Tua
presença, mesmo que eu me afaste de Ti,
cuidas de mim...”

Olívia Ferreira

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo principal, apresentar de forma abrangente, as possíveis causas para eventos de enchentes que atingem Itajubá, e que desde sua fundação tem trazido grandes problemas a população. Vem expor também a caracterização da bacia hidrográfica onde está inserido o corpo hídrico, o município, além de dados importantes sobre as causas desses acontecimentos. Apresenta também os principais eventos históricos e dados técnicos obtidos através de testes, como capacidade da calha principal do Rio Sapucaí e tempo de retorno para as vazões que causam o transbordamento desta. Através desses dados, busca-se um ponto crítico no rio, para ser referência, obtendo assim dados para cálculos que visam apontar medidas para conter tais problemas, sejam medidas estruturais ou não. Tal trabalho apresenta uma barragem, dique ou alteração do álveo como alternativas, a fim de trazer ao município condições de amenizar e prevenir prejuízos causados pelos eventos que há muito tempo tem estado presente na realidade da população itajubense. Vale ressaltar que este projeto não tem por objetivo avaliar a viabilidade das medidas economicamente, mas sim apontar os benefícios que estas podem oferecer ao município.

Palavras-chave: Enchentes. Medidas de Controle. Itajubá.

ABSTRACT

This work has as main objective to present a comprehensive manner, the possible causes for events of floods that since its inception has brought great problems to the population of Itajubá. Exposing the characterization of the basin where it operates the water body, a little on the municipality, as well as important data for the previous study of the causes of such events. It also presents the major historical events and technical data obtained through studies, as main capacity of the Sapucaí River and turnaround time for the flows that cause the overflow trough. Through these data, seek a critical point in the river, to be a reference, providing data for calculations that aims to identify measures to counter such problems, whether or not structural measures. This work presents alternatives that can bring the municipality able to alleviate and prevent damage caused by events that has long been present in the reality of Itajubá population. It is noteworthy that this project does not intend to assess the feasibility of the measures economically, but only point out the benefits that they can offer to the municipality.

Key-words: *Floods. Control Measures. Itajubá.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Histórico de inundações	12
2.1.1 A maior cheia no município de Itajubá	13
2.1.2 As cheias no período 1819 – 1929	13
2.1.3 As cheias no período 1930 – 2003	14
2.1.4 Eventos a partir de 2003	17
2.2 Geomorfologia e hidráulica fluvial	18
2.3 Hidrologia.....	20
2.3.1 A equação de Manning.....	20
2.3.2 Aquisição de dados históricos	21
2.3.3 Período de retorno	22
2.4 Medidas de controle e redução de prejuízos causados por enchentes	22
2.4.1 Medidas estruturais intensivas.....	23
2.4.2 Medidas estruturais extensivas	31
2.4.3 Medidas não estruturais	31
2.5 Medidas de controle e Regularização Ambiental	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1 O município	34
3.2 Bacia hidrográfica do Alto Sapucaí	35
3.3 Seção de estudos.....	37
3.4 Verificação da vazão na calha principal.....	38
3.4.1 Vazões históricas	39
3.5 Propostas para controle de enchentes em Itajubá.....	43
3.5.1 Dique	44
3.5.2 Modificação do álveo ou dragagem	45
3.5.3 Barragem	45
3.6 Para a avaliação ambiental das propostas	47
4 RESULTADOS	49
4.1 Medidas estruturais para o município de Itajubá	49
4.1.1 Resultados referentes ao dique	49
4.1.2 Resultados referentes a modificação do álveo.....	50
4.1.3 Resultados referentes a barragem.....	51
4.2 Medidas não estruturais para o município de Itajubá.....	53
5 CONCLUSÃO.....	55
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	57

APÊNDICE A – Resultados característicos para o Rio Sapucaí no perímetro urbano de Itajubá.....	59
ANEXO A – Seções de estudo.....	60

1 INTRODUÇÃO

As enchentes e inundações são eventos antigos geradores de impactos significativos sobre a sociedade. Perdas relevantes são causadas por tais acontecimentos, que ocorrem pelo comportamento natural dos rios, quando o volume de água excede a capacidade de drenagem do corpo hídrico, ou pelo efeito de alteração causada pelo homem, como a impermeabilização do solo, ocupações indevidas, dentre outros fatores.

As enchentes em áreas urbanas são, há muito tempo, um grave problema para cidades em todo o mundo, uma vez que atingem áreas densamente ocupadas, gerando prejuízos consideráveis e irreparáveis para a população. Uma série de fatores explicam tais acontecimentos, se apresentando como causas dos eventos. Certamente, um dos mais preocupantes é a ocupação de bacias hidrográficas sem o devido planejamento, resultando na densa povoação de áreas alagáveis. Parte da população que possui alto poder aquisitivo, tende a habitar lugares seguros, enquanto a população carente tem por alternativa, buscar áreas sujeitas ao risco, provocando problemas sociais que se repetem a cada evento de cheia.

O município de Itajubá, que desde sua fundação enfrenta os problemas ocasionados pelas enchentes, traz consigo a necessidade de solucioná-los, controlá-los ou preveni-los. Tendo em vista que o rio Sapucaí corta a cidade ao meio e em suas margens se encontram residências, comércio e instituições importantes para o funcionamento da cidade.

Segundo Barbosa (2006), para a mitigação de enchentes e inundações em áreas urbanizadas, são adotadas uma série de medidas estruturais e não estruturais que, associadas ou não, podem ser aplicadas.

Tais medidas devem ser analisadas de maneira criteriosa, a fim de obter sucesso ao aplicá-las. Ainda segundo Barbosa (2006), para a implementação de medidas, sejam elas estruturais ou não, diversos fatores devem ser levados em consideração: aspectos ambientais, hidrológicos, uso e ocupação do solo e características socioeconômicas. Tais fatores proporcionam um adequado e eficiente gerenciamento, considerando seus

aspectos naturais e locais, ocasionando assim, uma melhor convivência com tais fenômenos.

1.1 Objetivos

Este item tem por finalidade apresentar os objetivos geral e específicos do presente trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo propor um conjunto de medidas que contemplem aspectos de proteção e controle de enchentes para o município de Itajubá, tendo em vista os prejuízos causados pelo rio Sapucaí em seus momentos de cheia.

1.1.2 Objetivos Específicos

A realização do presente trabalho se dá pelos objetivos específicos, descritos a seguir:

- Apresentação histórica dos principais eventos de cheias;
- Através da aquisição de dados históricos, avaliar as enchentes, o canal fluvial e as situações mais críticas em relação aos eventos;
- Verificação dos níveis máximos de cheia;
- Diferenciação das medidas de controle das enchentes em estruturais e não estruturais, apresentando uma série delas;
- Análise de características específicas do corpo hídrico, a fim de obter parâmetros para a implantação de alternativas para reduzir os problemas com enchentes;
- Propor medidas estruturais e não estruturais para a mitigação das enchentes, dentre elas um dique, a modificação do álveo e uma barragem;
- Apresentar para as alternativas propostas, qual o enquadramento destas perante a DN/74 – 2004;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item traz conceitos importantes e necessários a compreensão de aspectos relevantes acerca do trabalho. Apresenta o histórico de enchentes, explicações sobre conceitos hidráulicos, equações, dentre outras. Definições e distinção das formas de controle de enchentes.

2.1 Histórico de inundações

É muito comum o emprego dos termos enchente e inundação, como se estes possuíssem definições equivalentes.

Inundação é o transbordamento de água da calha normal dos rios, mares, lagos e açudes. Ou acúmulo de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas. Podem ser classificadas segundo seu processo evolutivo. Alagamento é o acúmulo de água no leito das ruas ou no perímetro urbano por fortes precipitações pluviométricas, provocadas por sistemas de drenagem deficiente. Enchente é a elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal. (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO, 1998 apud NAGEM, 2008 p. 4)

Segundo Moraes (2003), enchentes podem ser classificadas por pequenas (localizadas) ou grandes, de acordo com a magnitude. Porém para classificar, deve-se levar em conta a área referida, afinal, enchentes de pequena proporção podem ter grande magnitude, em função das características geomorfológicas e hidráulicas do rio na localidade. Na quadro 1, as enchentes históricas de Itajubá foram classificadas. Sendo formulado o quadro, baseando-se em relatos históricos, com base em entrevistas a moradores e recortes de jornais. Pode-se observar a ocorrência de 74 eventos de cheias, desde a fundação da cidade, classificadas por observadores como grandes e localizadas.

Quadro 1 – Relato de cheias em Itajubá.

MÊS	ANO	PORTE	MÊS	ANO	PORTE
11	1821		1	1946	
12	1872		3	1947	
3	1874	Grande	3	1948	
3	1875		1	1949	Grande
2	1877		2	1950	
2	1879		1	1951	
1	1881	Grande	3	1952	
1	1882		2	1956	Média
1	1883		1	1957	Grande
2	1884		2	1958	
1	1885		1	1959	
1	1891		3	1961	
11	1895		3	1962	
	1905	Grande	1	1963	
	1906		2	1964	
10	1918		1	1965	
2	1919		3	1966	
	1922		1	1967	
	1924	Localizada	10	1978	
	1926	Localizada	1	1979	
	1929	Grande	1	1980	
12	1930		1	1981	Grande
2	1931		3	1982	
1	1932		2	1983	
12	1933		1	1984	
12	1934		3	1985	
2	1935		3	1986	
2	1936		1	1987	Grande
12	1937		3	1988	
12	1938		1	1989	
1	1939		1	1991	Grande
2	1940		12	1994	
12	1941		2	1995	
3	1942		3	1996	
2	1943		3	1998	
3	1944		3	1999	
2	1945	Grande	1	2000	Grande

Fonte: (MORAES, 2003)

2.1.1 A maior cheia no município de Itajubá

Ainda de acordo com Moraes (2003), no ano de 1874, houve uma cheia que chegou a atingir a praça Theodomiro Santiago, centro da área urbana. Em carta topográfica, o ponto do terreno na esquina com a Rua João de Azevedo, é o ponto mais baixo, e tem cota topográfica de 845,1 m, e de acordo com dados relatados, observa-se que, realmente, essa pode ter sido a maior cheia ocorrida em Itajubá, tendo atingido a cota de 848,14 m.

2.1.2 As cheias no período 1819 – 1929

A ausência de dados históricos e relatos sobre as cheias ocorridas entre 1821 e 1872, permitiram um grande intervalo no Quadro 1.

Segundo Pinheiro (2005), a partir de 1872 a 1929, algumas informações já se tornam disponíveis, afinal já existia o Jornal – “O Itajubá”, de onde era possível obter fotografias sobre as eventuais cheias. A figura 1 apresenta a enchente de 1919, mostrando a praça Getúlio Vargas, cuja cota do terreno é de 842,3 m, tendo um nível de cheia de 30 cm, vindo a ter uma cota de cheia de 842,6 m

Figura 1 – 26/02/1919 – Praça Getúlio Vargas.



Fonte: (PINHEIRO, 2005).

2.1.3 As cheias no período 1930 – 2003

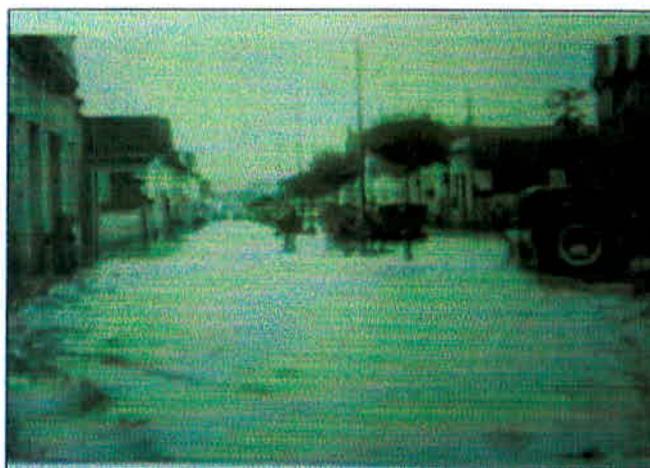
Segundo Pinheiro (2005), a partir de 1930, as vazões passaram a ser medidas com uma estação fluviométrica que passou a operar. Porém os picos das grandes cheias não foram detectados para registro, devido as réguas não medirem mais que 5 metros e, todas as cheias tiveram níveis superiores a 7 metros.

Ainda em Pinheiro (2005), se ressalta que a chuva acumulada no evento de 2000, atingiu valores máximos de 350 mm sobre a bacia, concentrados, nas cabeceiras dos rios Sapucaí, Lourenço Velho, Santo Antônio e também em toda área de contribuição do Rio Verde - as enchentes foram de grande magnitude nas cidades em que o curso do rio percorre, principalmente São Lourenço. Em Itajubá, o núcleo de maior concentração de chuva esteve na bacia do rio Sapucaí, ultrapassando a marca de 8 metros, havendo uma cheia generalizada em toda cidade.

Segundo Milograna, Baptista e Campana (2011), nesse evento 70% da área urbana da cidade foi inundada, com profundidades de submersão que ultrapassaram 3 metros em alguns pontos, e duração superior a 3 dias. Havendo 4 óbitos e mais de 20000 desabrigados. Alguns registros são apresentados a seguir. A figura 2, retrata a

Avenida Coronel Carneiro Júnior, cuja cota do terreno é de 843,3 m, tendo como cota de cheia 842,55m.

Figura 2 – 1935 – Av. Cel. Carneiro Junior.



Fonte: (PINHEIRO, 2005).

Já a figura 3, apresenta a Praça Getúlio Vargas em outro evento, o de 1935, onde apresenta cota do terreno igual a 843,3m vindo com o evento a alcançar uma cota de cheia de 842,6m.

Figura 3 – 1940 – Praça Getúlio Vargas.



Fonte: (PINHEIRO, 2005)

A figura 4, retrata a enchente de 1957, na Praça Wenceslau Brás, com cota do terreno igual a 843,15m, e nível de cheia de 70 cm, resultando numa cota de cheia de 843,85m.

Figura 4 – 1957 – Praça Wenceslau Brás.



Fonte: (PINHEIRO, 2005).

A figura 5 mostra a enchente de 1991, na Rua Eng. Vicente Sanches, onde a cota de terreno é 842,7m e resultou numa cota de cheia de 843,7m, o que indica um nível de cheia de 1m.

Figura 5 – 1991 – Rua Eng. Vicente Sanches.



Fonte: (PINHEIRO, 2005).

E por último a figura 6, que traz a enchente de 2000, na avenida Dr. Antônio Braga Filho com cota de terreno de 842,7m, nível de cheia de 1m, e cota de cheia de 843,7m.

Figura 6 – 2000 – Av. Dr. Antônio Braga Filho.



Fonte: (PINHEIRO, 2005).

2.1.4 Eventos a partir de 2003

A partir de 2003, os únicos eventos dignos de serem citados, são o de 2005 e 2006, em que o rio Sapucaí esteve na iminência de transbordar na estação base, transbordando em 2006.

Tais eventos, evidenciam a vulnerabilidade de cheias da bacia do rio Sapucaí, deixando claro que o município de Itajubá, é vulnerável a ocorrência de enchentes. Com isso, diversos pesquisadores foram atraídos a objetivarem projetos de pesquisa acerca dos eventos, causas, possíveis formas de prevenção, auxílio e solução aos problemas que assolam a população itajubense, além de outros que possuem por objetivos, o estudo das cheias.

Pinheiro (2005) faz um levantamento histórico das enchentes ocorridas em Itajubá ao longo de sua história, através estabelece uma seção do Rio Sapucaí, no perímetro urbano, para que este venha a ser uma Estação-base, estabeleceu também uma curva chave para o rio, parâmetros estes, a fim de fornecer informações sobre os eventos acontecidos e os que poderão vir a acontecer em Itajubá, as entidades como Prefeitura Municipal, à Defesa Civil e meios de comunicação.

Mattos (2004), apresenta uma metodologia para auxílio à previsão de cheias na sub-bacia do alto Sapucaí, baseada na transmissão de dados via telefonia celular, cujo objetivo principal, é obter o nível, a pluviosidade e a vazão volumétrica de um curso d'água com o uso de sistemas não intrusivos.

Moni (2006) busca mapear a cidade de Itajubá, elaborando mapas com fotos aéreas e levantamento topográfico, elaborar um tutorial do SPRING para manchas de inundação, e neste simular as manchas de inundações, considerando as cheias para vários períodos de retorno; levantar as cotas de inundação na região de estudo, que servirá como ferramenta para as entidades de controle de inundações, auxiliando também para o planejamento urbano da cidade.

Vianna (2000), utiliza do modelo HEC-RAS, para a simulação dos picos das cheias de Janeiro de 1991 e Janeiro de 2000 em Itajubá/MG. Os resultados foram usados para a elaboração de uma carta de enchentes em Itajubá, com respectivos tempos de retorno.

2.2 Geomorfologia e hidráulica fluvial

Os processos fluviais que resultam do escoamento das águas, segundo Pinheiro (2005), estão relacionados aos fatores:

- hidrológicos e climáticos;
- bióticos;
- geomorfológicos;
- de ocupação do solo.

Ainda segundo Pinheiro (2005), os fatores geomorfológicos influenciam muito nas características hidráulicas do rio, fazendo com que estas sejam as mais variadas possível. Como exemplo: um rio que possui grandes sinuosidades, tende a ter velocidades reduzidas, e acúmulo de sedimentos elevado. Outro exemplo é a conformação topobatimétrica da seção transversal, com a determinação dos variados tipos de leitos, alteram significamente as vazões.

Segundo Pinheiro (2005), o leito fluvial corresponde ao espaço ocupado pelo escoamento das águas. Dessa forma, com a frequência das descargas, e a topografia do canal fluvial, figura 7, os leitos podem ser classificados como:

- leito menor;
- de vazante;
- maior e maior excepcional.

Figura 7 – Tipos de leito fluvial



Fonte: (PINHEIRO, 2005).

Conforme Christofolletti (1981), a delimitação dos leitos nem sempre é simples e fácil de se saber, devido à falta de nitidez de seus limites. A existência dos distintos tipos de leito, e a relação entre estes, pode ser diferente de um curso para outro.

Fatores são adotados para a definição das margens plenas de um canal fluvial, de acordo com Christofolletti (1981), são estes:

- A altura da superfície de inundação (ou calha secundária) determina as margens plenas de um canal,
- A definição das margens, se dá pelo limite do estabelecimento definitivo e contínuo da vegetação,
- O nível da cheia de recorrência de 1,58 anos corresponde as margens plenas do canal,
- Pelo nível superior dos depósitos arenosos,
- Pelos detritos deixados pelas cheias.

Segundo Pinheiro (2005), o leito menor do canal nada mais é que a parte do canal ocupada pelas águas e cuja frequência impede o crescimento de vegetação. Esse tipo de leito é delimitado por margens bem definidas. O leito de vazante é a parte do canal ocupada durante o escoamento das águas de vazante. Sendo mais bem identificada na seção transversal do canal. Já o leito maior, ou maior periódico ou sazonal, é ocupado pelas águas do rio sempre, ou pelo menos uma vez ao ano durante as cheias. Dependendo do tempo de recorrência, sendo possível haver o crescimento de vegetação herbácea. O leito maior excepcional, é aquele ocupado durante grandes cheias, podendo ocorrer em intervalos irregulares, ou podendo se estender a algumas dezenas de anos.

Ainda de acordo com Pinheiro (2005), a demanda de água que chega ao canal, deriva o escoamento fluvial, este formado por águas superficiais e subterrâneas. A quantidade de cada, é definida por vários fatores, tendo entre eles o clima, o solo, cobertura vegetal e declividade.

Ainda assim, Pinheiro (2005) afirma que a velocidade em um canal, depende necessariamente de fatores importantes como: declividade no perfil longitudinal, vazão, seção transversal, coeficiente de rugosidade do leito. Fatores como esses, fazem com que a velocidade tenha caráter dinâmico ao longo do canal e também no perfil transversal. Mudanças como a rugosidade do canal e o aumento da declividade do perfil, aumentam a velocidade e por consequência a vazão. Dessa forma, quanto mais lisa a calha, maior a eficiência do fluxo.

Para canais naturais, os escoamentos uniformes são raros diz Chow (1959 apud PINHEIRO, 2005), todavia, são frequentemente utilizados para cálculos do escoamento em canais naturais. Deve-se lembrar que escoamentos uniformes, não podem acontecer em velocidades altas, ou em regimes ultrarrápidos: quando este entra em determinada velocidade, se torna instável.

2.3 Hidrologia

Este item, tem por objetivo, explicitar alguns pontos da hidrologia, utilizados no decorrer desse trabalho.

2.3.1 A equação de Manning

Segundo Tomaz (2011), a principal fórmula e mais conhecida para dimensionamento de condutos livres utilizada no Brasil, nos Estados Unidos e outros países de língua inglesa, é a fórmula experimental do engenheiro irlandês R. Manning (1816-1897) elaborada em 1891. É impressionante como grandes obras de canais e rios são feitas baseadas na fórmula de Manning. Existem muitas medições e aferições do uso do coeficiente de Manning de maneira que uma pessoa experiente pode com relativa facilidade escolher o valor adequado para cada caso.

Através da fórmula de Manning, se é capaz de calcular a velocidade no canal, e posteriormente a vazão que comporta o canal ou corpo fluvial a ser analisado, o que a torna ferramenta para o estudo da quantificação de cheias desse trabalho. Outros autores, que de alguma forma estudaram o Rio Sapucaí ou até mesmo outros canais, utilizaram desta para obterem dados necessários para seus respectivos projetos.

Pinheiro (2005), utilizou para a construção da curva-chave da estação base de seu projeto, a equação de Manning.

Nota-se que, com a equação de Manning, a vazão é encontrada com a utilização da área e perímetro da seção transversal do canal, o coeficiente de manning e a declividade.

Tendo por maiores dificuldades para trabalhar com essa equação:

- A obtenção dos levantamentos topobatimétricos, para a determinação do raio hidráulico e da área transversal;
- Quando o canal apresenta grande grau de meandramento (grandes variações morfológicas), a determinação da declividade no canal se torna uma atividade bem complexa;
- A variação do coeficiente de resistência de Manning em canais naturais, o que não ocorre para canais artificiais;
- Alguns locais com profundidade e largura grandes, ou locais passíveis de grandes ondas de cheia, dificultam a obtenção da velocidade no canal.

Contudo é uma equação muito utilizada para cálculo de vazão em canais naturais ou artificiais. Segundo Pinheiro (2005), consiste em um recurso usualmente empregado, para a determinação das vazões.

Porém Pinto et al (1997) apresenta o caso de canais com rugosidades não-uniformes. Neste caso pode-se determinar um coeficiente de rugosidade equivalente único para efeito do cálculo. Há várias hipóteses para a determinação da rugosidade equivalente, entre elas a proposta por Einstein e Horton (apud PINTO et al., 1997) que a velocidade média em todas as seções parciais e na seção total é a mesma. Determinando assim um coeficiente equivalente para o canal de materiais diferentes.

2.3.2 Aquisição de dados históricos

A análise de consistência de dados, é realizada para tratar os dados hidrológicos que são coletados em campo, descartando e selecionando erros, de modo a corrigi-los, seguindo metodologias já estudadas pela literatura, de modo a garantir dados confiáveis ao usuário.

O entendimento dos processos hidrológicos de uma bacia é de grande utilidade para o desenvolvimento da sociedade, afinal pode-se através destes, quantificar e

analisar riscos ambientais, instalar empreendimentos e garantir o uso correto dos recursos naturais.

Porém existe um grande problema quando se fala de dados fluviométricos, a questão de possuírem grande incerteza, por serem fenômenos naturais.

Para a busca de melhores resultados, deve-se dispor de uma maior quantidade e qualidade de dados e informações da região. Afinal, nem com os melhores métodos matemáticos, consegue-se fornecer bons resultados, se não tiverem disponíveis, dados hidrológicos consistentes.

2.3.3 Período de retorno

Segundo Pinto et al (2005), é definido como o período de recorrência, ou tempo de recorrência. Definindo-se também como sendo o intervalo médio de anos dentro do qual ocorre na mesma proporção ou é superada uma dada cheia de determinada magnitude. A obtenção deste se dá por vários métodos, dentre eles o método de Gumbel.

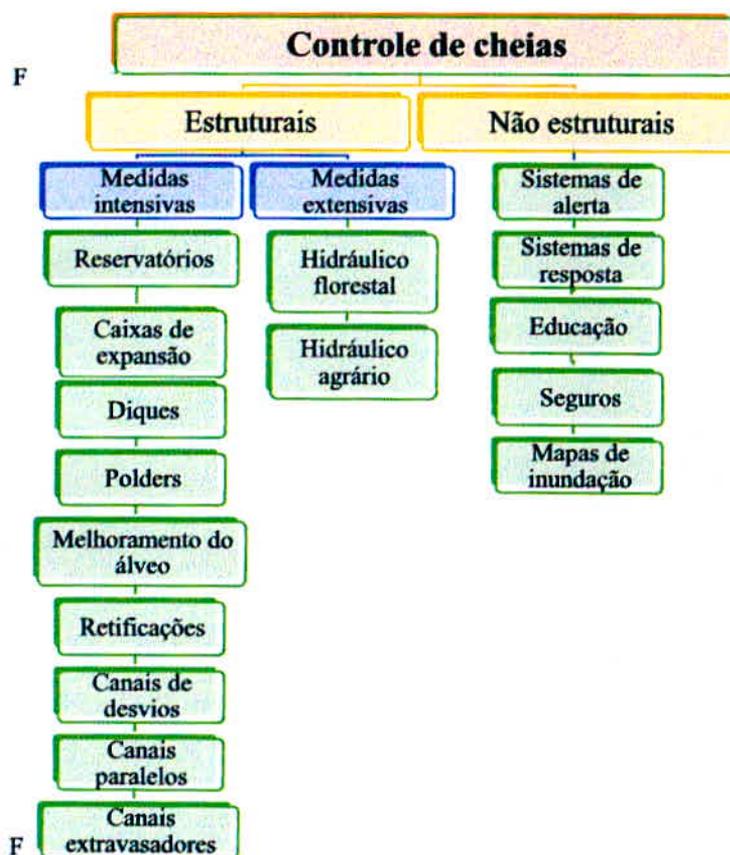
2.4 Medidas de controle e redução de prejuízos causados por enchentes

As medidas de controle, se dividem em dois grupos distintos: as medidas estruturais e não estruturais. Segundo Tucci e Bertoni (2003), as medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, ou seja, que interferem no rio. Enquanto as medidas não estruturais, são aquelas em que os prejuízos são reduzidos, pela melhor convivência da população com o rio. Completa Barbosa (2006), que medida estrutural é quando o homem modifica o rio, e não estrutural é quando o homem convive com o rio.

Ainda segundo Tucci e Bertoni (2003), as medidas estruturais se definem como obras de engenharia, implementadas para reduzir o risco de enchentes. Sendo estas divididas em extensivas e intensivas.

Na figura 8 são apresentadas algumas medidas estruturais e não estruturais, que são implantadas a fim de reduzir os riscos de enchentes e inundações.

Figura 8 – Medidas para controle de cheias



Fonte: (CORDERO et al, 1999) adaptada.

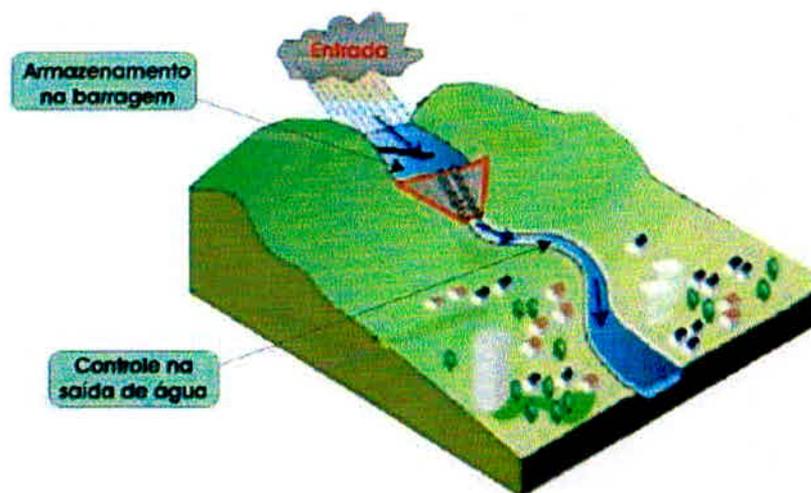
2.4.1 Medidas estruturais intensivas

Segundo Tucci (1993), as medidas intensivas são as que agem no rio e objetivam diversas formas de controle dependendo do tipo da obra. Se dividem em três: aceleração do escoamento, retardação do escoamento e o desvio do escoamento.

- Reservatórios ou Barragens: Segundo Barbosa (2006), a construção destas estruturas tem por finalidade: amortecer o pico de cheias para um evento chuvoso intenso, garantindo o controle para a jusante das áreas vulneráveis, além do armazenamento de água para abastecimento, irrigação e outros fins.

Na figura 9, a representação esquemática de um reservatório.

Figura 9 – Representação do reservatório.



Fonte: (BARBOSA, 2006)

As barragens devem levar em consideração os impactos que podem causar tanto a jusante quanto a montante do empreendimento.

Segundo Tucci e Bertoni (2003), à jusante, é muito comum a existência de áreas sujeitas a inundação. Com a construção da barragem, a tendência é que o reservatório produza o amortecimento das enchentes nestas áreas ribeirinhas, se não houver problemas operacionais na barragem. No entanto, se a área à jusante não estiver ocupada, acaba sendo pela proximidade do empreendimento, passando a ser sujeita a enchentes. Se o empreendimento não amortecer as enchentes, a tendência é que seja cobrado a reduzir os impactos a jusante pela sociedade.

Ainda segundo Tucci e Bertoni (2003), nos períodos de enchente, existirão eventos em que a barragem não será capaz de amortecer a vazão e ocorrerá inundações. A percepção pública nessa situação tende a culpar a barragem pelo ocorrido, portanto é necessário que o empreendimento tenha um eficiente sistema operacional e observação confiável dos dados hidrológicos necessários a demonstração das condições operacionais para a defesa das ações.

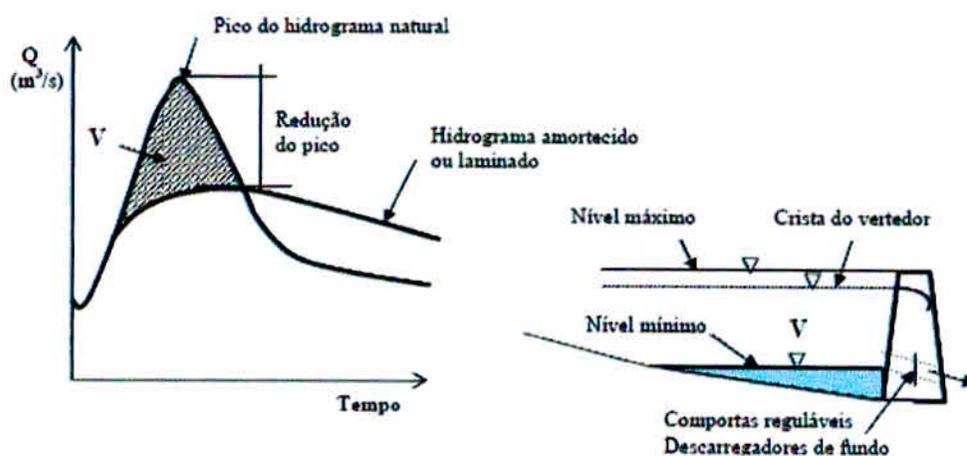
De acordo com Tucci e Bertoni (2003), à montante, a construção de uma barragem, pode causar os seguintes impactos:

- a) Em acordo com a vazão efluente, a regra operacional e a capacidade de escoamento, a linha de água de remanso pode inundar ou provocar represamentos para montante.

- b) As condições do item anterior podem se alterar com o tempo devido ao assoreamento do reservatório, que ocorre inicialmente ao trecho mais à montante. Com isto os níveis de inundação anteriormente projetados podem aumentar, atingindo áreas fora do limite desapropriado

A figura 10, aponta qual o efeito e o desenho esquemático de uma barragem.

Figura 10 – Efeito do reservatório.

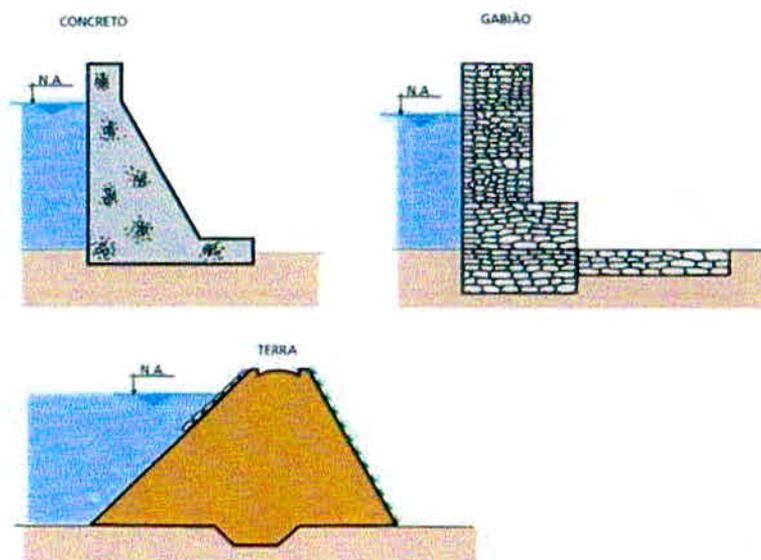


Fonte: (CORDERO et al, 1999).

As barragens podem ser classificadas em diferentes tipos, segundo Marangon (2004), de acordo com o seu objetivo, seu projeto hidráulico e os tipos de materiais empregados na sua construção. Com relação a este aspecto, as barragens podem ser classificadas em concreto, terra e enrocamento.

A figura 11 apresenta três tipos de barragens, diferenciadas pelo material que as compõe.

Figura 11 – Alguns tipos de barragens



Fonte: (DAEE, 2005)

Ainda segundo Marangon (2004), A escolha do tipo mais adequado de barragem, para um determinado local de um curso d'água, depende dos seguintes aspectos:

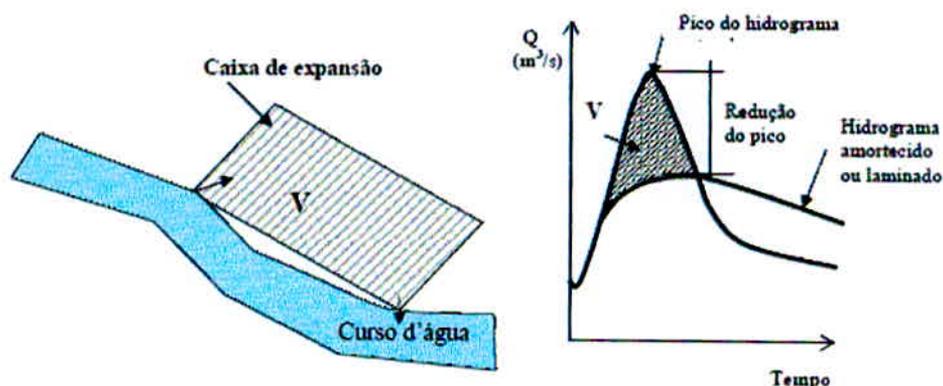
1) Segurança da Obra - ligada às características inerentes do próprio local: condições geológicas, configuração do vale e dimensões da obra.

2) Custo da obra - em função do preço e disponibilidade do material. A ausência, por exemplo, de rocha resistente do tipo granito, gnaiss, basalto ou diabásio, para ser usada como agregado para concreto, "rip-rap" ou enrocamento, ou de cascalho, para os mesmos fins, pode causar alterações profundas no custo da obra.

Além desses critérios, Marangon (2004) diz que deve ser considerada uma série de fatores físicos que governam a seleção do tipo de barragem. A não ser em condições excepcionais, mesmo o mais experiente projetista é incapaz de dizer se um determinado tipo de barragem é adequado ou mais econômico para um dado local. Na seleção do melhor tipo de barragem para um determinado local, devem ser consideradas as características físicas do local, o objetivo da obra, fatores econômicos, de segurança, etc. Normalmente, o maior fator individual que determina a escolha final é o custo da construção.

- Caixas de expansão: Segundo Cordero et al (1999), são utilizadas para áreas alagáveis, com o objetivo de decapitar a onda de cheia que se propaga ao longo de um curso d'água. Tem por função a laminação da cheia, assim como os reservatórios. Geralmente instaladas ao pé da montanha ou em zonas de planície, em série, em paralelo ou misto ao curso do rio. Muitas planícies por si só, já trabalham como caixas de expansão naturais, afinal no momento de enchentes elas são inundadas, armazenando grande quantidade de água, que vem a retornar ao curso do rio, quando as águas começam a baixar. A figura 12 apresenta o efeito da caixa de expansão, como essa trabalha.

Figura 12 – Efeito da caixa de expansão.



Fonte: (CORDERO et al, 1999).

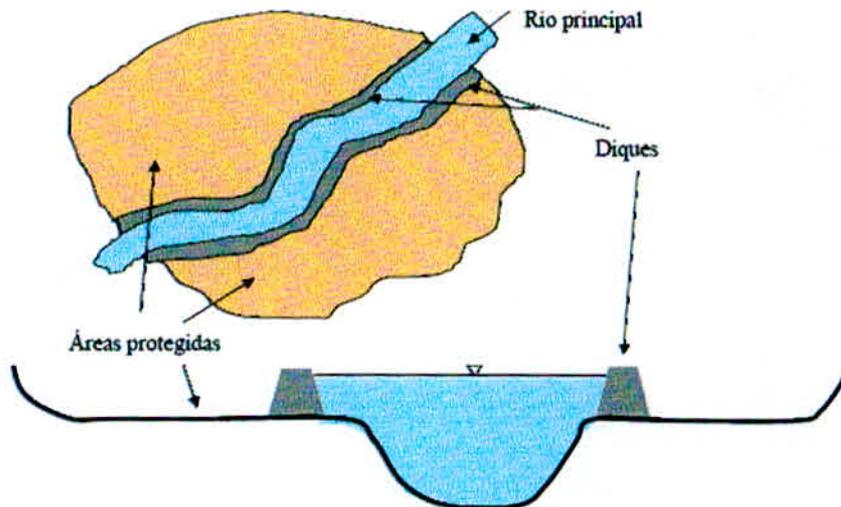
- Diques: Segundo Cordero et al (1999), São barramentos de terra ou concreto, retos ou inclinados ao longo das margens do rio, com altura que seja capaz de conter as vazões no canal principal a um valor limite em projeto, impedindo o extravasamento.

Segundo Tucci e Bertoni (2003), os efeitos de redução da largura do escoamento, confinando o fluxo, são o aumento do nível de água da seção para a mesma vazão, causando assim o aumento da velocidade no curso e conseqüentemente a erosão das margens.

Ainda segundo Tucci e Bertoni (2003), o maior risco existente na construção de uma obra como os diques, é a questão de se definir uma vazão máxima suportável, afinal sempre existirá um risco de colapso, quando os danos podem ser piores se o mesmo não existisse. Tal medida permite proteção localizada para uma região ribeirinha, devendo não adotar alturas muito grandes, para que não haja o rompimento do dique e a enchente seja ainda maior que a de projeto

A figura 13, mostra o desenho representativo de um dique de proteção.

Figura 13 – Dique de proteção

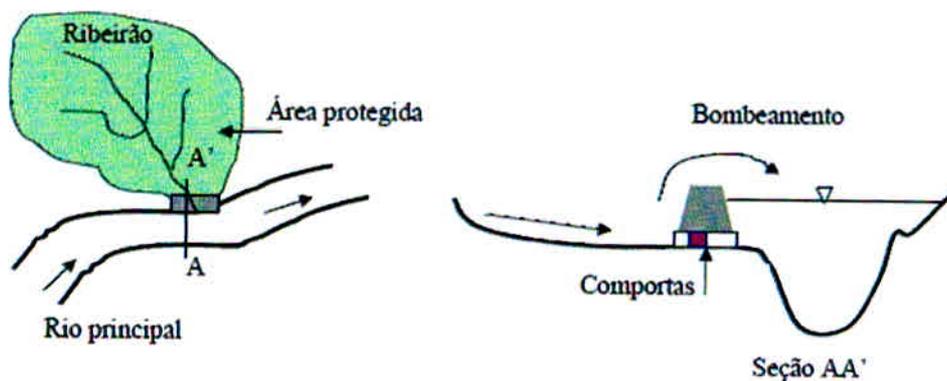


Fonte: (CORDERO et al, 1999)

- Polders: são utilizados para proteger áreas restritas. Segundo Cordero et al (1999), a diferença entre diques e polders, é que os polders possuem uma estação de bombeamento para retirar as águas que chegam na área protegida durante uma enchente. Acrescenta também a necessidade de se construir uma galeria com comportas reguláveis para evitar a entrada da água do rio principal na área protegida. Tucci (1993) vem lembrar que tanto diques quanto polders, possuem por vantagem o alto nível de proteção, mas como desvantagem, o risco de colapso que acarretaria tragédias bem maiores.

A figura 14, esquematiza a medida estrutural denominada polder.

Figura 14 – Polder

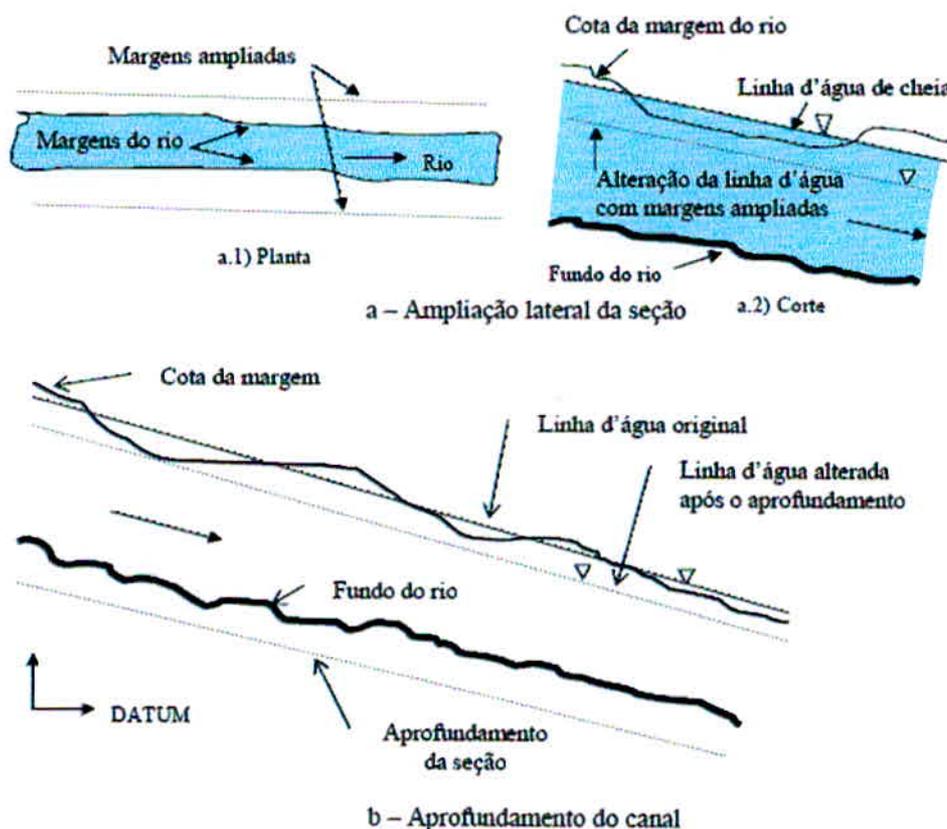


Fonte: (CORDERO et al, 1999)

- Modificações do álveo ou Dragagem: Segundo Tucci e Bertoni (2003), as modificações na morfologia do rio buscam aumentar a vazão para um mesmo nível, diminuindo a sua frequência de ocorrência. Sendo que tal proeza pode ser obtida pelo aumento da seção transversal ou pelo aumento da velocidade. Para aumentar a velocidade é necessário reduzir a rugosidade, retirando obstáculos ao escoamento, dragando o rio, aumento a declividade pelo corte de meandros ou aprofundando o rio, contudo tais medidas apresentam custos elevados.

A figura 15, apresenta um esquema em relação a modificação do rio.

Figura 15 – Modificação do álveo.

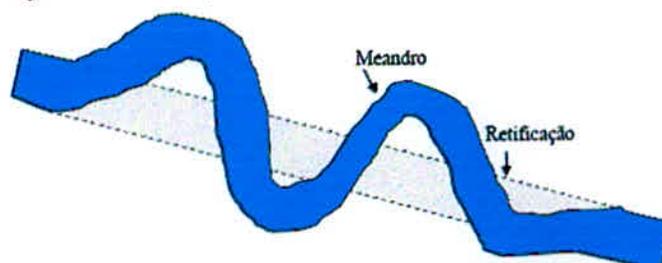


Fonte: (CORDERO et al, 1999)

- Retificações: Segundo Cordero et al (1999), consiste na retificação do canal, construindo um novo leito para este, retilíneo ou quase em uma zona no qual, em geral, o rio percorre numerosos meandros (curvas). Essa medida tem por primeira consequência a diminuição do percurso d'água, com o aumento da declividade. Também neste caso, haverá uma maior velocidade na corrente, as cheias buscarão mais

rapidamente a jusante. Com tal aumento da velocidade, existe então a erosão da seção do trajeto retificado. A figura 16 mostra o processo de retificação.

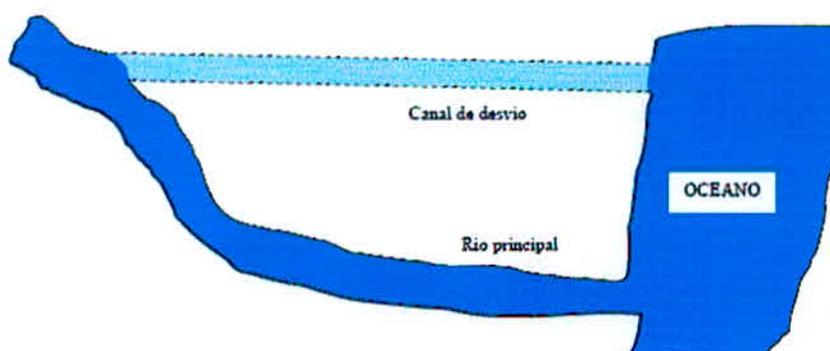
Figura 16 – Retificação.



Fonte: (CORDERO et al, 1999)

- Canais de desvios: Segundo Cordero et al (1999), esta medida serve para desviar parte da vazão de um rio, diminuindo esta, na zona que se deseja proteger. Neste tipo particular de obra a água desviada não retorna mais ao canal principal, mas sim para um lago, outro curso d'água ou diretamente ao mar. Ainda de acordo com Cordero et al (1999), o inconveniente nesse tipo de obra é o fato de que subdividindo a vazão em mais de um ramo, a velocidade da água diminui, e portanto, se reduz também a força de transporte dos materiais, havendo assim a elevação do leito do rio, o que pode comprometer as vantagens que tal sistema pode oferecer. Na figura 17, é possível entender através do desenho, como se dá o processo de canal de desvio.

Figura 17 – Canal de desvio.

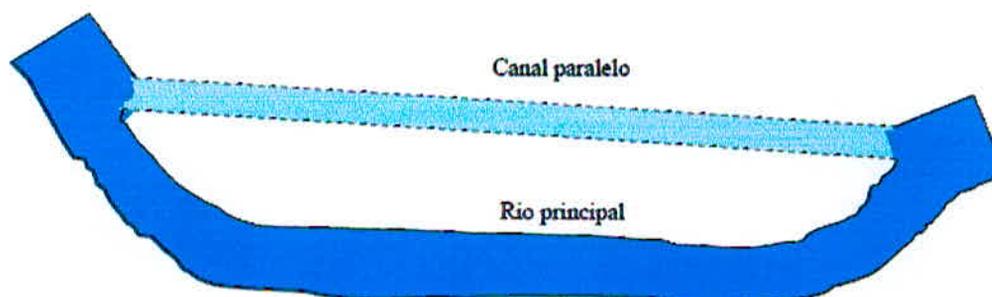


Fonte: (CORDERO et al 1999)

- Canais paralelos: Canais paralelos funcionam com o mesmo princípio dos canais de desvio, porém estes se situam paralelamente ao rio, voltando a vazão desviada ao próprio canal, ou seja, ao curso principal.

A figura 18 traz o esquema de um canal paralelo.

Figura 18 – Canal paralelo.



Fonte: (CORDERO et al, 1999)

- Canais extravasadores: Estes podem ser definidos como paralelos ou de desvio, mas se diferem na questão de que estes só serão utilizados em épocas de cheia, para eventuais extravasamentos do curso principal. Segundo Cordero et al (1999), este é privo de água e permite o crescimento de vegetação, mas está sempre pronto para receber água do curso principal, caso seja necessário. Tendo por vantagens e desvantagens as mesmas dos dois canais anteriormente citados.

2.4.2 Medidas estruturais extensivas

De acordo com Tucci (1993), as medidas consideradas extensivas são as que agem na bacia, modificando as relações entre a precipitação e a vazão, como por exemplo, a alteração da cobertura vegetal da bacia, que vem a reduzir os picos das cheias e o volume de escoamento superficial.

Segundo Cordero et al (1999), o controle é realizado por intervenções de conservação do solo, com práticas agrícolas corretas, se dá através do reflorestamento da bacia. Este tipo de medida produz benefícios diversos que influenciam na formação de cheias segundo os seguintes mecanismos: a) aumento da capacidade de infiltração do solo; b) redução da velocidade média de escoamento do solo.

2.4.3 Medidas não estruturais

Segundo Tucci e Bertoni (2003), as medidas estruturais geralmente não são projetadas para oferecerem proteção completa. Afinal esta demandaria uma grande estrutura, a fim de atender a maior enchente possível. Além de ser fisicamente e economicamente inviável na maioria dos casos, podendo criar na população a falsa

sensação de segurança, levando a ocupação urbana de áreas indevidas, o que posteriormente pode gerar danos significativos.

Já as medidas não estruturais em conjunto com as anteriores ou não, ainda de acordo com Tucci e Bertoni (2003), podem minimizar significativamente os prejuízos, com menor custo. Abaixo são apresentados alguns exemplos de medidas não estruturais contra enchentes:

- Sistemas de alerta: Segundo Tucci (2003), este tem por função informar e alertar as pessoas que habitam áreas de risco, contra enchentes e inundações. Consistem na previsão de eventos, que são simulados por meio de modelos matemáticos hidrológicos em tempo real. Estes preveem as enchentes com uma certa antecedência, acionando assim os dispositivos de controle das cheias, pré-dispostos no sistema resposta.

- Sistema resposta: Segundo Cordero et al (1999), um sistema resposta compreende os procedimentos de planos e decisões de ações de proteção, que possam ser implantados a curto prazo. Como por exemplo, a retirada dos materiais móveis, animais, elevações de diques de areia entre outras medidas.

- Educação: Ainda de acordo com Cordero et al (1999), para que dê certo a implementação de uma medida não estrutural, se faz necessário que o conhecimento acerca do problema, se torne acessível as pessoas que estão expostas ao risco, ou seja, são necessárias a conscientização das pessoas sobre os fatos e as melhores maneiras de se proceder diante de tais eventos.

- Seguros contra enchentes: Segundo Tucci e Bertoni (2003), o seguro de enchentes, permite aos indivíduos ou empresas a obtenção de uma proteção econômica para as perdas decorrentes das enchentes.

- Mapas de inundação: Segundo Barbosa (2006), são métodos bastante usuais para cidades que sofrem com tal problema. É uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de inundações. Segundo Tucci e Bertoni (2003), os mapas podem ser de dois tipos: a) Mapa de planejamento: que define as áreas atingidas por cheias de tempos de retorno escolhidos; b) Mapas de alerta: informam em cada esquina ou ponto de controle o nível da régua para o qual inicia a inundação. Este permite o

acompanhamento da enchente por parte dos moradores, tendo por base a observação das réguas.

2.5 Medidas de controle e Regularização Ambiental

Sem dúvidas, atividades de infraestrutura como muitas das medidas estruturais citadas anteriormente, necessitam regularização ambiental para serem implementadas.

A DN 74/04 estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências.

Com isso as medidas propostas pelo atual trabalho, deverão ser sujeitas a tal avaliação, a fim de estabelecer a passividade do empreendimento quanto a AAF ou Licenciamento Ambiental. Além disso, a SEMAD avalia a necessidade ou não de outorga pelos empreendimentos propostos.

Além do licenciamento e da autorização, deve-se levar em conta as Áreas de Preservação Permanente (APP), que são regidas pelas Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, que estipula para rios entre 10m e 50m de largura, uma área de APP em suas margens, de no mínimo 50m, que é o caso do rio Sapucaí.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este item traz quais os materiais e métodos necessários para a obtenção de dados que possibilitam encontrar explicação e soluções possíveis para as enchentes em Itajubá. Dentre estes o tempo de retorno e capacidade de vazão em diversas seções pelo rio, por toda sua extensão no município de Itajubá. Através destes dados, obter a seção mais crítica, para que utilizando desta, fosse possível a análise de algumas medidas para o controle das enchentes. Traz também os métodos e materiais utilizados para o dimensionamento de medidas estruturais, propostas pelo presente trabalho.

3.1 O município

O município em estudo, pelo qual o presente trabalho busca explicitar e apresentar medidas para controle e mitigação dos eventos de enchentes, é o município de Itajubá. Tendo em vista que por toda sua história, tal cidade sofre com as épocas de cheia.

Segundo Moni (2006), a cidade de Itajubá está localizada no sul do estado de Minas Gerais, situada nas coordenadas Latitude Sul – 22°:25':36,55" e Longitude Oeste "Greenwich" – 45°:27':33,42". Segundo IBGE (2015), atualmente conta com uma população estimada de 90.026 habitantes. Com área de unidade territorial igual a 294.835 km².

Segundo Moni (2006), a topografia de Itajubá é do tipo ondulada montanhosa, sendo em maior parte montanhosa, possui 57 bairros, limitando-se com os municípios: São José do Alegre, Maria da Fé, Wenceslau Brás, Piranguçu, Piranguinho e Delfim Moreira, exercendo influência direta sobre 14 municípios da região. Possui uma localização privilegiada, como é possível constatar na figura 19.

Figura 19 - Localização do município de Itajubá



Fonte: (FICA, 2015).

Segundo Moni (2006), as terras de Itajubá, estão localizadas na encosta da Mantiqueira, e o conjunto geográfico é formado das seguintes serras principais: do Juru, do Ano Bom, do Goiabal, do Lourenço Velho, da Água Limpa, dos Toledos, do Pouso Frio, o morro da Piedade e outras elevações menores.

3.2 Bacia hidrográfica do Alto Sapucaí

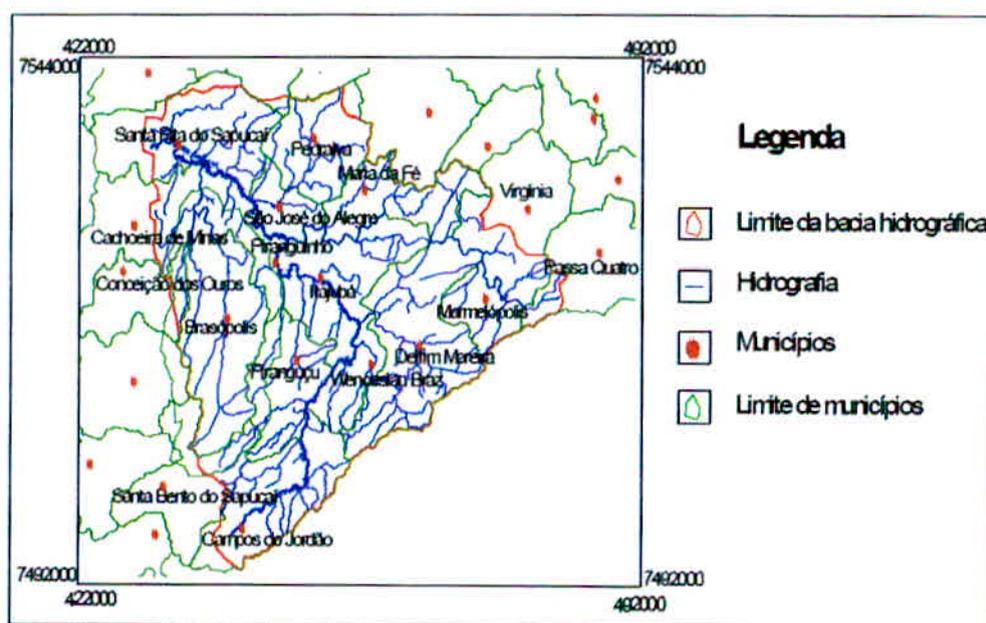
Para analisar o Rio Sapucaí no perímetro urbano, faz-se necessário a análise também da bacia na qual ele está inserido.

Esta está inserida na região sudeste, entre os estados de Minas Gerais e São Paulo. Segundo Pinheiro (2005), tal bacia possui uma área de drenagem total de cerca de 3000 km², correspondente a 0,56% da área total do estado. O Rio Sapucaí nasce na serra da Mantiqueira, em Campos do Jordão – SP, a uma altitude de 1650 m, desaguando no Lago de Furnas, a aproximadamente 780m de altitude, no município de Paraguaçu – MG. Tal rio, atravessa os estados de Minas Gerais e São Paulo, percorrendo respectivamente 309km e 34km cada.

Segundo Pinheiro (2005), na bacia do Alto Sapucaí, desde sua nascente até a jusante do ribeirão Vargem Grande, o Rio Sapucaí percorre uma distância próxima a 120km. Tendo como afluentes no trecho, Rio Lourenço Velho, Ribeirão de José Pereira e o Rio Santo Antônio pela margem direita, e os Ribeirões Piranguçu, Anhumas e Vargem Grande, pela esquerda.

Segundo Pinheiro (2005), a região inclui 12 municípios, Campos do Jordão, Delfim Moreira, Wenceslau Brás, Itajubá, Maria da Fé, Pedralva, Marmelópolis, São José do Alegre, Piranguinho, Piranguçu, Santa Rita do Sapucaí e Brasópolis, estas todas localizadas dentro da bacia. O relevo é formado por montanhas, a vegetação é caracterizada por pastagens e árvores de médio porte, comuns a regiões de clima tropical de altitude. Abaixo se encontra a imagem da área da bacia hidrográfica, figura 20.

Figura 20 - Área da Bacia hidrográfica do Alto Sapucaí.



Fonte: (MAIA, 2003).

Como tal projeto tem por interesse o estudo do rio no município de Itajubá, segundo Pinheiro (2005), o rio possui extensão de 12 quilômetros compreendidos entre a passarela de acesso ao Condomínio Helibrás junto a BR-459 e a foz do Ribeirão Piranguçu, com largura média de 36,6 metros, profundidade média de 6,7 metros, a partir da crista do talude, e declividade média de 0,068%.

É o principal rio de Itajubá, dividindo a cidade praticamente ao meio. Possui importância ímpar no progresso e vida da cidade, sobretudo no passado, com a facilidade da navegação.

3.3 Seção de estudos

Para analisar o canal, se fez necessário definir algumas seções do rio. Seguindo o mesmo modelo de Pinheiro (2005), que, todavia, definiu para o rio 28 seções ao longo do perímetro urbano da cidade de Itajubá.

Ainda segundo Pinheiro (2005), estas seções são as mesmas encontradas no trabalho realizado pela parceria do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá (FEPI) – IGAM/FEPI (1999).

As seções começam a alguns metros da jusante da ponte Guaraci Guedes e se estendem até alguns metros a montante da passarela do Condomínio Helibrás. Conforme ANEXO A. Tais dados trazem o posicionamento relativo da seção, distancia, cotas das margens, geometria, talude, altura e largura do canal.

Vale ressaltar, que um canal natural de caráter fluvial, possui geometria irregular, o que torna necessário um levantamento topobatimétrico para a caracterização deste. Contudo para uma primeira avaliação, justifica seguir o método utilizado por Mattos (2004), que visa estudar o rio com características geométricas regulares, trazendo as seções, em perfis trapezoidais e retangulares, facilitando assim a obtenção da área da seção, que posteriormente será utilizada para cálculo do raio hidráulico e a capacidade de vazão do trecho.

As seções seguiram escolha de pontos estratégicos, ao longo do rio dentro do município, abrangendo grande parte deste, e tendo uma visão geral do corpo fluvial. Na figura 21, pode-se ver os nove pontos principais, que serviram de referência para a locação do restante. Estes possuem as cotas topográficas, obtidas pela ferramenta computacional Google Earth.

Figura 21– Posicionamento das principais seções ao longo do rio no perímetro urbano.



Fonte: O autor (Google Earth).

3.4 Verificação da vazão na calha principal

Nessa etapa, se busca determinar qual o valor da vazão que a calha principal suporta em cada trecho, com seção individual sem extravasamento para a calha secundária (a cidade é construída sobre a mesma). Todavia, faz-se necessário a obtenção dos seguintes dados:

- Coeficiente de Manning, n ;
- A declividade do leito, I (m/m);
- O raio hidráulico, R_h (m);
- A área da seção, A (m²);
- O perímetro molhado, p (m).

Com os dados acima, adequando-se à geometria desejada, é possível então fazer uma relação entre as equações de Manning e da Continuidade, e obter a vazão que a calha principal do canal, em estudo, suporta.

Equações necessárias:

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Onde:

Q: vazão (m³/s)

A: área da seção (m²)

V: velocidade (m/s)

$$V = \frac{Rh^{\frac{2}{3}} d^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2)$$

Onde:

Rh: raio hidráulico (m)

d: declividade do canal (m/m)

n: coeficiente de resistência de manning

Nesse trabalho em primeiro momento, foram dispostas para as seções, suas respectivas características regulares como se a calha principal do rio, tivesse caráter retangular ou trapezoidal, como descritos no item revisão. Estas seções, permitem o cálculo da vazão suportada pela calha principal de modo geral, para que com esses, num segundo momento se proponha um estudo a fundo do principal ponto de fácil transbordamento da calha, vindo a ocupar a área alagável (calha secundária) onde está situada a cidade de Itajubá.

Tendo posse de todos os dados, utiliza-se da fórmula de Manning, e com o auxílio do programa Excel, é então obtida a vazão suportável na calha de cada seção em estudo.

3.4.1 Vazões históricas

O quadro 2 apresenta trinta dados históricos de vazão máxima anual, no período de 1976 – 2009.

Quadro 2 – Máximas vazões anuais no período de 1976 a 2009.

ANO	MAIOR VAZÃO ANUAL	ANO	MAIOR VAZÃO ANUAL	ANO	MAIOR VAZÃO ANUAL
1976	100	1988	284	1999	144,9
1977	220	1989	105,4	2000	480
1980	134	1990	105,4	2001	122,8
1981	273	1991	204,5	2002	149
1982	196	1992	34,55	2003	84,88
1983	254	1994	113	2004	152,2
1984	58,58	1995	119,7	2005	171,4
1985	228,8	1996	161,4	2006	671
1986	213	1997	143,5	2007	40,02
1987	147,8	1998	73,4	2009	258,4

Fonte: Hidroweb.ana.gov.br (acesso em: 13/04/2015)

Através destes, foram realizadas análises que pudessem verificar o tempo de retorno para as seções da calha principal do rio Sapucaí dentro da cidade de Itajubá, e fosse assim identificado o ponto mais crítico, para que através deste, fossem obtidos parâmetros para a implementação de estruturas de controle de cheias. Com o método de Gumbel, é possível obter o tempo de retorno para cada seção do ANEXO A. Abaixo se encontram as equações que foram utilizadas para isto:

Equações necessárias para o cálculo do tempo de retorno:

$$y_T = -\ln\left[-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right] \quad (3)$$

Onde:

Y_t : é a variável reduzida Gumbel para determinado período de retorno T ;

T : Período de retorno;

Com a variável reduzida de Gumbel, a média e o desvio padrão da amostra, pode-se obter a vazão para determinado período de retorno, pela equação:

$$y_T = \frac{X_T - \bar{X} + 0,45 \cdot S}{0,7797 \cdot S} \quad (4)$$

Onde:

X_t : é a vazão ou chuva para um determinado período de retorno T ;

X : é a média da amostra;

S : é o desvio padrão da amostra;

Y_t : a variável reduzida de Gumbel para determinado período de retorno.

Com as fórmulas de Manning e Gumbel, foram feitos testes que fornecem como resultados, a vazão suportada pelo canal por toda a cidade, assim como o tempo de retorno para tais eventos. Estes que comprovaram a incapacidade da calha principal do canal em determinados momentos, apontando então o ponto mais vulnerável. Tais resultados se encontram no APÊNDICE A.

Segundo Marciano (2015), técnico do laboratório de informações hídricas da UNIFEI, de acordo com pesquisas realizadas pela instituição, foi comprovado que o primeiro local onde ocorre o extravasamento das águas do canal é na estação de captação de água da COPASA, também conhecida como Estação Santa Rosa. Na figura 22, pode-se ver onde está localizada tal ponto, estando esta entre a Ponte José Job e Ponte Mário Penok.

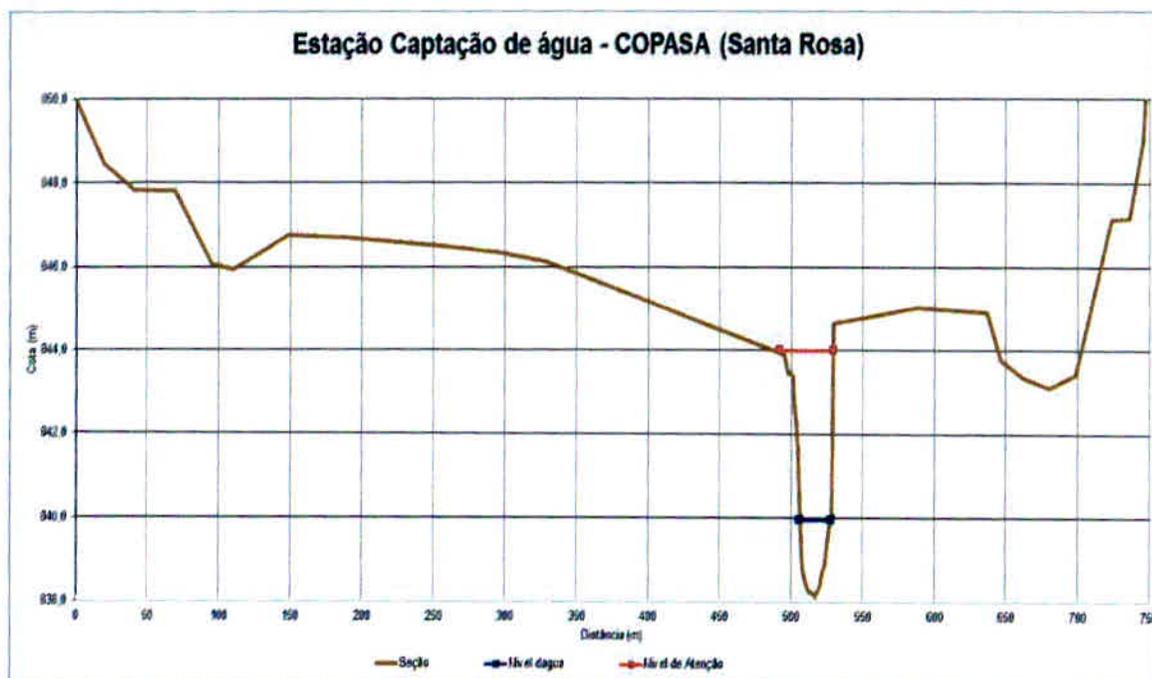
Figura 22 – Localização da estação de captação COPASA Santa Rosa



Fonte: Google Earth (acesso: 22/10/2015)

Na figura 23, pode-se obter algumas características da seção, como a cota do nível do leito do rio que se encontra próxima a 838m. Além disso, o nível normal da água, na dada seção se encontra na cota 840m, tendo como início de alagamento a cota 844m.

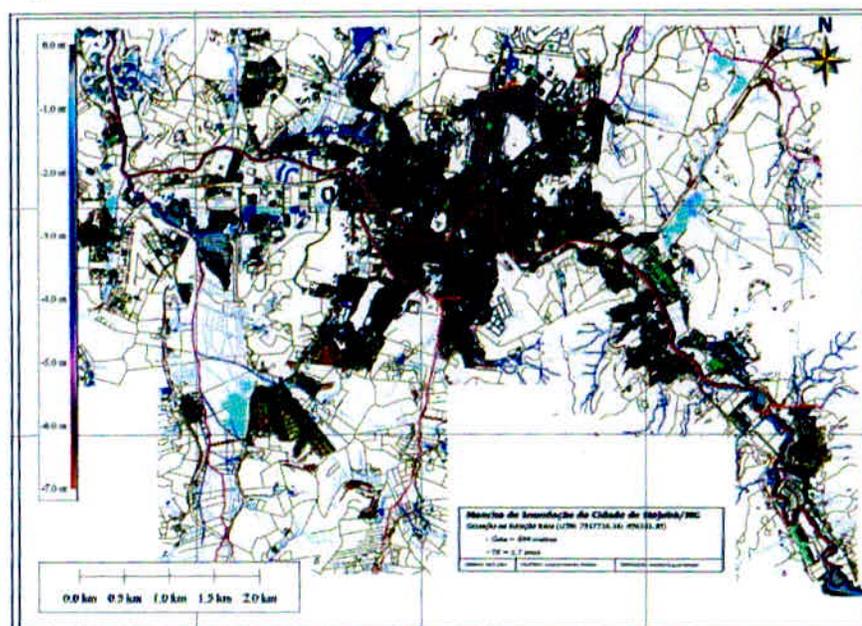
Figura 23 – Levantamento topobatimétrico na estação de captação da COPASA.



Fonte: Dados fornecidos pelo técnico Alexandre Germano Marciano (UNIFEI)

Ainda segundo Marciano (2015), quando o nível da água sobe a cota 845m, já é possível encontrar alagamento no Bairro Vila Rubens em Itajubá. Com isso, as soluções propostas nesse trabalho, utilizarão como referência para cálculo, a seção da estação de captação de água da COPASA. A figura 24 mostra a mancha de inundação na cidade na cota 844m.

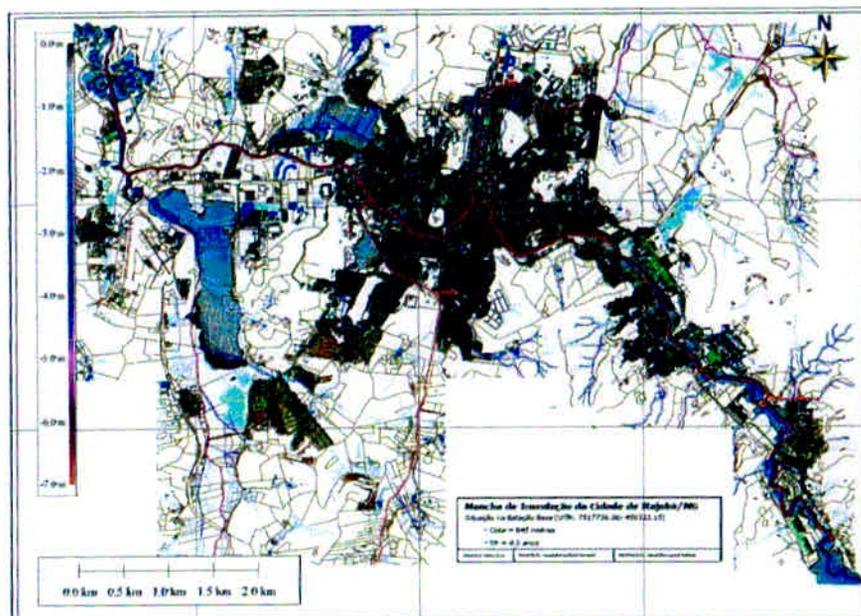
Figura 24: Mancha de Inundação cota 844m.



Fonte: (MARCIANO, 2015)

Na cota 845m, o aumento da presença de água no município é significativo. Conforme figura 25, a mancha de inundação.

Figura 25: Mancha de Inundação cota 845m.



Fonte: (MARCIANO, 2015)

Na figura 26, é possível ver a estação e o ponto de captação no rio. Tal ponto serve de referência para os cálculos das medidas de controle.

Figura 26 – Estação de Captação COPASA.



Fonte: O autor

3.5 Propostas para controle de enchentes em Itajubá

Nesse item são apresentadas as possíveis medidas de solução para as enchentes do município.

3.5.1 Dique

Nesse processo, serão utilizadas as equações de Manning e Continuidade, para que com a área, o perímetro molhado, o coeficiente de manning e a declividade, seja possível encontrar para a seção adotada, a capacidade de vazão na calha principal desta. As equações são apresentadas a seguir, respectivamente:

$$V = \frac{Rh^{\frac{2}{3}} d^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (3)$$

Onde:

Rh: raio hidráulico (m)

d: declividade do canal (m/m)

n: coeficiente de resistência de manning

$$Q = V \times A \quad (4)$$

Onde:

Q: vazão (m³/s)

A: área da seção (m²)

V: velocidade (m/s)

Para a proposta de dique, se torna necessário a obtenção de um coeficiente de rugosidade equivalente, este obtido através da equação a seguir:

$$n = \frac{(P_1 \times n_1^{1,5} + P_2 \times n_2^{1,5} + \dots + P_n \times n_n^{1,5})^{2/3}}{P^{2/3}} \quad (5)$$

Onde:

P: perímetro molhado (m)

n: coeficiente de manning (adimensional)

Tendo disponível a vazão que a calha suporta, se torna possível obter o tempo de retorno para esta, o que conseqüentemente indica de quanto em quanto tempo essa transborda, colocando água para o meio urbano.

Com isto, propõe-se um dique que seja executado ao longo do rio, no perímetro urbano, fazendo uma análise de altura e tempo de retorno. Com essa análise, busca-se apontar qual será o tempo acrescido, de acordo com a altura que será executada.

3.5.2 Modificação do álveo ou dragagem

Outra proposta para controle das enchentes, buscando manter a água na calha, é a modificação do álveo ou dragagem. Se dá pela ampliação vertical da calha do rio, ou seja, o aprofundamento da mesma, em busca de aumentar a capacidade suportável de vazão do canal no perímetro urbano de Itajubá.

O processo de análise para a implementação de tal medida, se dá pelo mesmo raciocínio dos diques. Se busca encontrar a vazão suportada na calha, depois desta o tempo que esta leva em anos, para que o evento iguale ou seja superado, vulgo tempo de retorno.

Após a obtenção do tempo de retorno busca-se analisar quanto tempo será acrescido nesse se for imposta certa altura de escavação. Pode-se obter os resultados também pela relação entre Manning, Continuidade e Gumbel, assim como no dimensionamento de diques.

3.5.3 Barragem

Para o dimensionamento da barragem, fez-se necessário a seleção da seção mais crítica, para que através desta, fosse obtida a vazão máxima que a calha suporta. Com isso, são calculados orifícios para a barragem que atendam a demanda da vazão estipulada, para que através destes, se obtenha a altura da barragem pela equação abaixo:

$$Q = Cd \times A \times \sqrt{2gH} \quad (6)$$

Onde:

Q: vazão pelo conduto (m³/s)

Cd: coeficiente de descarga (adimensional)

A: área da seção transversal do orifício (m²)

g: aceleração da gravidade (m/s²)

H: carga sobre o descarregador, diferença de cota do nível da água no reservatório, e o eixo do orifício (m)

Estipulada a altura do reservatório, busca-se então o melhor ponto para a instalação da barragem. Este se dá com o auxílio dos softwares Global Mapper e Google

Earth que permitem pelas curvas de nível, a obtenção da melhor ombreira para a instalação da barragem e a área alagada.

Após a definição do melhor ponto, busca-se dimensionar os taludes, a crista dentre outras partes importantes que compõe a barragem, como o vertedor.

Segundo DAEE (2005), o dimensionamento do talude a montante da barragem, se dá pelo triplo da altura da mesma, o talude a jusante se dá pelo dobro desta, e a crista deve possuir pelo menos 2,5 m de largura.

Para o dimensionamento do vertedor, utiliza-se a equação a seguir:

$$Q = 4,43 \times Cd \times L \times H^{3/2} \quad (7)$$

Onde:

Q: Vazão de descarga pelo vertedor de superfície (m³/s)

Cd: coeficiente de descarga (adimensional)

L: Comprimento da soleira (m)

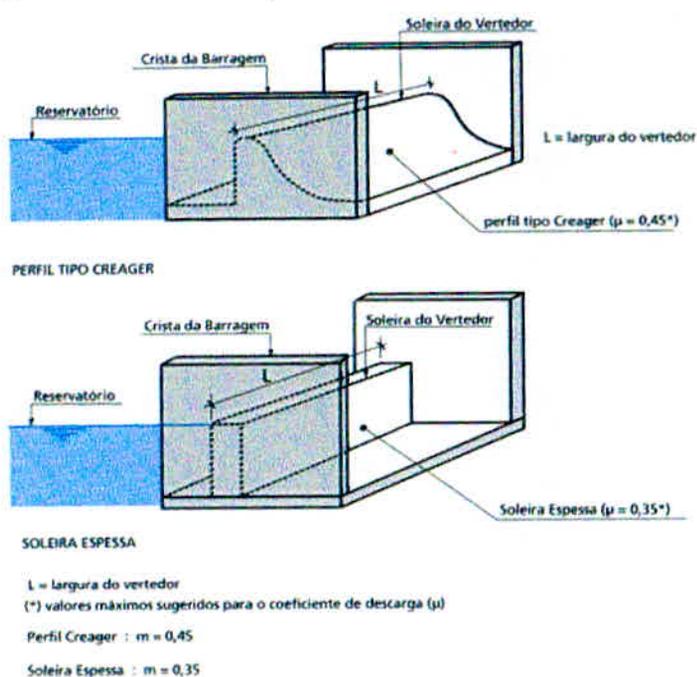
H: altura da lâmina d'água (m)

Para o dimensionamento do vertedor, alguns parâmetros devem ser levados em consideração, segundo DAEE (2005):

- a) O comprimento da soleira deve ser, no mínimo, igual a 3H.
- b) A lâmina d'água não deve ultrapassar 60 cm e deve ser medida suficientemente a montante, no mínimo a uma distância igual a 5H, para não ser influenciada pelo abaixamento superficial da lâmina.

Para a superfície, um vertedor se faz necessário, sendo alguns deles apresentados pela figura 27.

Figura 27: Vertedores de superfície



Fonte: (DAEE, 2005)

3.6 Para a avaliação ambiental das propostas

Segundo DN/74 – 2004, para a classificação e enquadramento do empreendimento proposto, se faz necessário a avaliação do porte e potencial poluidor deste. Para isso, considera-se as seguintes informações:

E-05-02-9 Dique de proteção de margens de curso d'água.

Pot. Poluidor/Degradador: Ar: M Água: G Solo: G Geral: G

Porte:

$0,1 < \text{Área útil} < 2 \text{ ha}$: Pequeno

$2 \leq \text{Área útil} \leq 20 \text{ ha}$: Médio

$\text{Área útil} > 20 \text{ ha}$: Grande

E-05-03-7 Dragagem para desassoreamento de corpos d'água.

Pot. Poluidor/Degradador: Ar: P Água: G Solo: M Geral: M

Porte:

$20.000 < \text{Volume de Dragagem} < 30.000 \text{ m}^3$: Pequeno

$30.000 \leq \text{Volume de Dragagem} \leq 500.000 \text{ m}^3$: Médio

$\text{Volume de Dragagem} > 500.000 \text{ m}^3$: Grande

E-03-01-8 Barragem de saneamento.

Pot. Poluidor/Degradador: Ar: P Água: G Solo: G Geral: G

Porte:

$10 < \text{Área Inundada} < 150 \text{ ha}$: Pequeno

$150 \leq \text{Área Inundada} \leq 1000 \text{ ha}$: Médio

$\text{Área Inundada} > 1000 \text{ ha}$: Grande

Através destes dados, é possível fazer a classificação do empreendimento, e determinar se este necessita de autorização ambiental de funcionamento (AAF) ou Licenciamento Ambiental. E verificar pela SEMAD se será necessário a outorga para a implementação destes.

4 RESULTADOS

Esse item tem por objetivo apontar os resultados e análises das propostas formas de mitigação para os problemas de enchentes em Itajubá.

4.1 Medidas estruturais para o município de Itajubá

Nessa etapa são apresentados os resultados para as medidas estruturais adotadas e analisadas no decorrer desse trabalho. São elas: dique, modificação do álveo e barragem.

4.1.1 Resultados referentes ao dique

Foi comprovada a existência de enchentes na cidade de Itajubá. E devido à grande frequência destas no município, a necessidade de solução é clara para a cidade.

De acordo com os estudos realizados, o tempo de retorno para as vazões que fazem com que a calha principal do Rio Sapucaí que corta a cidade transborde, é muito baixa sendo em média 5 anos, dados presentes no APÊNDICE A.

Com isso, busca-se aumentar o tempo de retorno construindo um dique na cidade. A questão de um ponto específico viável para a construção deste se torna complexo. No entanto o atual trabalho sugere um dique para o ponto onde foram realizados os estudos, sendo este o ponto de referencia para todoo trabalho, com isso objetivou-se a análise do dique, visando sua altura e que influência esta gera ao tempo de retorno da calha.

É apresentado o quadro 3, que mostra a relação entre o tempo de retorno e a altura do dique, levando em consideração a seção transversal do ponto mais crítico da cidade, a Estação de Captação da COPASA.

Lembrando que o coeficiente de Manning levado em consideração é um para material dentro do canal existente e outro para o concreto, que se encontra acima do canal natural. Fazendo o cálculo equivalente, se tornou possível a obtenção deste para cada perímetro molhado.

Quadro 3 – Relação altura x tempo de retorno

Altura de dique (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)	Declividade de (m/m)	Rh (m)	n	V (m/s)	Vazão (m ³ /s)	Yt	T (anos)
0	200	48,00	0,00068	4,17	0,04	1,69	337,61	1,26	5
1	240	50,00	0,00068	4,80	0,039	1,90	456,63	2,22	10
2	280	52,00	0,00068	5,38	0,038	2,11	590,29	3,30	25
3	320	54,00	0,00068	5,93	0,037	2,31	738,54	4,50	60
4	360	56,00	0,00068	6,43	0,036	2,50	901,57	5,82	160
5	400	58,00	0,00068	6,90	0,036	2,62	1049,78	7,02	400

Fonte: Autor

Analisando os resultados, conclui-se que poucos metros de altura de dique já proporcionam um aumento considerável no tempo de retorno. A vazão da maior enchente dos últimos tempos, vulgo de 2000, um dique entre 1 e 2 metros, poderia ter reduzido bem os prejuízos causados por esta. Lembrando que o presente trabalho não foca seus objetivos a uma análise financeira de tais soluções, deixando como sugestão a outros indivíduos, a oportunidade de conferirem a viabilidade econômica destes.

Além disso, a proposta de um polder seria de grande relevância, afinal um sistema de bombeamento para a transferência de água do meio externo para dentro da obra de contenção, seria ideal para esse caso.

Analisando o dique no rio em toda sua extensão, possui porte poluidor grande e potencial poluidor também grande, resultando em classe 6, exigindo licenciamento ambiental e segundo a SEMAD, outorga.

4.1.2 Resultados referentes a modificação do álveo

O raciocínio para tal solução se dá pelos mesmos cálculos do dique, que consistem na ampliação da calha. Porém ao falarmos em aprofundamento, nos referimos a metros de escavação, o coeficiente de Manning se difere dos diques por conta do material, buscando uma maior capacidade da calha e o aumento do tempo de retorno.

Os resultados em relação ao tempo de retorno referente à modificação do álveo, estão dispostos no quadro 4.

Quadro 4 – Resultados referentes a modificação do álveo.

Altura de escavação (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)	Declividade de (m/m)	Rh (m)	n	V (m/s)	Vazão (m ³ /s)	Yt	T (anos)
0	200	48,00	0,00068	4,17	0,04	1,69	337,61	1,26	5
1	240	50,00	0,00068	4,80	0,04	1,86	445,21	2,13	10
2	280	52,00	0,00068	5,38	0,04	2,00	560,78	3,06	25
3	320	54,00	0,00068	5,93	0,04	2,13	683,15	4,05	60
4	360	56,00	0,00068	6,43	0,04	2,25	811,41	5,09	160
5	400	58,00	0,00068	6,90	0,04	2,36	944,81	6,17	400

Fonte: Autor

E, por se tratar de uma extensão de 12km de rio dentro da cidade, busca-se a instalação da medida em pontos que apresentem maior incidência de extravasamento, havendo a análise dos pontos de desagua. Tal empreendimento apresenta porte poluidor médio e potencial poluidor grande, sendo classificado assim como classe 5, necessitando de licenciamento e segundo a SEMAD, outorga.

4.1.3 Resultados referentes a barragem

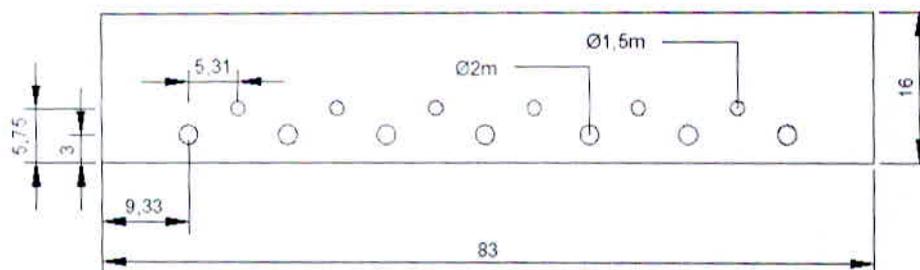
Esse trabalho apresenta uma barragem de terra a fim de analisar sua eficiência como método estrutural de resolução.

Através dos cálculos, obteve-se uma altura para a barragem de 16 metros. Sendo este resultado baseado no diâmetro dos orifícios estipulados, 7 orifícios de 2m de diâmetro, gerando uma vazão de descarga de 210 m³/s, e outros 6 de 1,5 m, com vazão de 90m³/s. Totalizando assim uma vazão de 300 m³/s, estipulada no projeto, tendo por base a vazão de 338m³/s suportada pelo rio.

O dimensionamento do vertedor se faz para uma vazão deca milenar. Seguindo premissas básicas, resultou na escolha de um vertedor com soleira tipo Creager, cujo coeficiente de descarga é 0,45. Esta possui comprimento de 83m de soleira, lâmina d'água de 60 cm, descarregando uma vazão de 76,9 m³/s. E um segundo vertedor disposto lateralmente, composto por 4 canais de 500m de comprimento, largura de 1,2m, que segue a premissa básica de canais retangulares (2 vezes a altura da lamina d'água). A altura da lamina d'água de 0,6m, dimensionados para uma vazão de 1200 m³/s. Sendo estipulada pelo tempo de retorno deca milenar a fim de aumentar a segurança da barragem.

A figura 28 traz as dimensões para a visão frontal da barragem calculada.

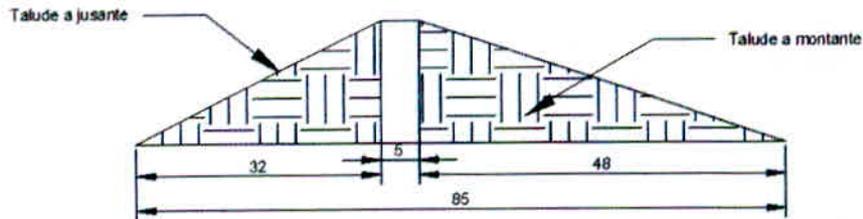
Figura 28: Vista frontal da barragem



Fonte: Autor

A figura 29 apresenta o perfil da barragem, apresentando os taludes e a crista desta.

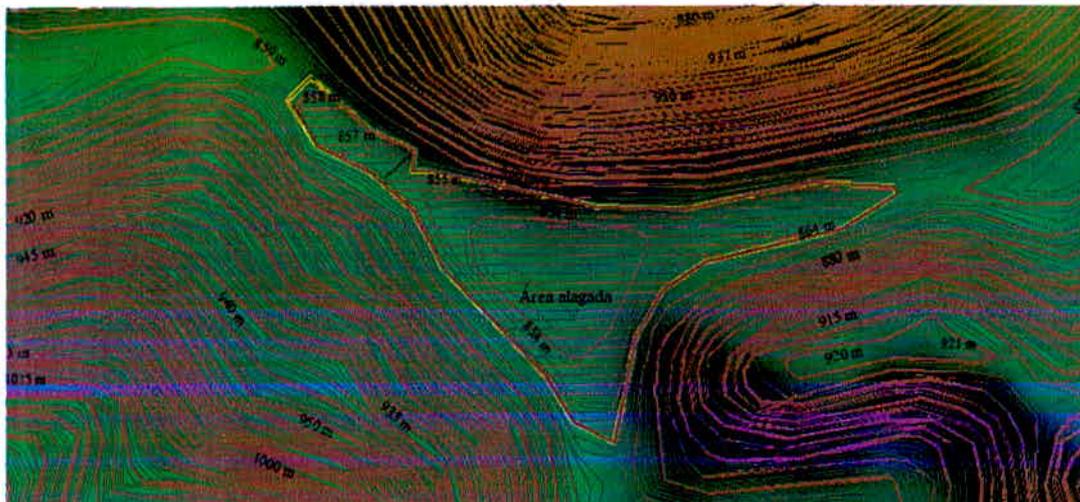
Figura 29: Perfil da barragem



Fonte: Autor

Pelo software Global Mapper, foi possível a obtenção da área alagada, possibilitando também a classificação do empreendimento. A área alagada é apresentada nas figuras 30 e 31, tendo por resultado uma área de 172.849m² que equivale a 17,3 ha.

Figura 30: Área alagada pelo Global Mapper.



Fonte: Autor

Figura 31: Área alagada pelo Google Earth.



Fonte: Autor

Pelo porte pequeno e o potencial poluidor grande, sua classe de agressividade é número 3, dependendo assim de Licenciamento Ambiental, e segundo a secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), barragens necessitam de outorga.

4.2 Medidas não estruturais para o município de Itajubá

Com a grande incidência de enchentes no município, e com a capacidade do rio de transbordar em um pequeno período de tempo, fez-se necessário um monitoramento hidrológico, a fim de transmitir a população dados e o alerta de possíveis enchentes, com antecedência maior, auxiliando assim a defesa civil, para com a segurança da população.

O projeto de monitoramento para cheias na sub-bacia do alto Sapucaí, teve por proposta não somente atingir o município de Itajubá, mas também, auxiliar os municípios de Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, que também apresentam dificuldades com tais acontecimentos. Sendo implantados para a aquisição das vazões necessárias ao monitoramento, redes de interações que abranjam todo os cursos d'água representativos, que de alguma forma, contribuam para alertar e evacuar as pessoas no momento certo.

Segundo Mattos (2004), cada estação de monitoramento possui os equipamentos seguintes:

- Pluviômetro;
- Sensor de nível;
- Painel solar com bateria;
- Sistema de transmissão de dados.

A transmissão de dados se realiza via telefonia celular, por meio de uma central de coleta que continuamente recebe sinais analógicos do sensor de nível e bateria e sinais digitais do pluviômetro. Sendo este criado para se diferir dos demais sistemas, evitando a intrusão, isto é, independentemente do tamanho da cheia, tal sensor não será atingido.

Ainda segundo Mattos (2004), os dados transmitidos pela central de transmissão, são numéricos que chegam na central de recepção por meio de correio eletrônico. Funcionando da seguinte maneira: Para períodos de baixa pluviosidade, os dados são transmitidos de duas em duas horas, contudo se a vazão ultrapassa determinado limite de alerta, esses dados passam a ser enviados de cinco em cinco minutos. Sendo estes interpretados pela equipe técnica da Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI. Que posteriormente, buscam auxílio da defesa civil, a fim de evacuar os lugares com periculosidade de enchentes.

Segundo entrevista dada por Marciano (2015), o sistema atualmente não tem operado mais, devido à falta de verbas. Contudo, a equipe técnica já está se mobilizando com as entidades competentes, a fim de voltar o funcionamento de um sistema que tenha por objetivo alertar a população quanto aos riscos.

Uma outra proposta não estrutural de resolução, é a conscientização e educação de todas as pessoas com temas acerca das enchentes. São exemplos:

- Cota mínima para o nível de construção, de acordo com o plano diretor;
- O não descarte de materiais em canais fluviais;
- A busca por menor impermeabilização do solo;
- Instruções gerais em caso de eventos de enchentes, entre outras;

5 CONCLUSÃO

Com os estudos presentes nesse trabalho, foi possível verificar que realmente as enchentes fazem parte da realidade do município de Itajubá, afinal um problema oriundo do passado, na questão da má ocupação e urbanização, fez com que o município fosse instalado na calha maior do rio Sapucaí, sem mencionar a área propícia as atividades antrópicas. Contudo o estudo prévio não realizado, para constatar que o canal necessita de sua calha secundária em determinadas épocas, onde as cheias são maiores, permitiu então que as enchentes se tornassem um problema que assusta a população Itajubense ao longo de sua existência.

A calha principal do canal apresenta uma capacidade inferior a demanda que as vazões ocorrentes no corpo hídrico em determinadas épocas, necessitam. O que ocasiona a formação de grandes alagamentos que trazem consigo, desconforto, preocupações, riscos além de uma série de prejuízos materiais.

O tempo de retorno para vazões que já possuem um caráter de transbordamento da calha, é relativamente pequeno, tomando por base a série histórica analisada e os resultados obtidos no decorrer desse trabalho. Ressaltando, que por se tratar de dados de natureza variável, torna-se difícil a obtenção de resultados livres de qualquer erro. Contudo, estes permitem analisar e obter uma série de informações que auxiliam nos estudos do corpo hídrico inserido na cidade.

A saúde, o bem-estar e o desenvolvimento, seja ele social ou econômico, de cada morador do município é de extrema importância. E com a ocorrência de tais problemas, torna-se complicado o progresso nestes aspectos.

Sem dúvidas vários métodos e estudos acerca destes problemas já foram e são, até a atualidade, executados em prol da resolução, exemplo disso, são as estações de monitoramento e alerta de cheias além de outros meios também significativos, que buscam a melhoria da condição de vida, a prevenção e até a solução dos tristes problemas vividos pela população em relação as enchentes.

O presente trabalho buscou apontar quais os aspectos benéficos que trazem consigo, as medidas estruturais ainda não implantadas no município, objetivando a resolução dos problemas com enchentes. Tais medidas, mostram viabilidade numa visão técnica e social, sendo a barragem proposta, a que apresenta maior viabilidade, afinal esta mostra maior segurança em relação as outras, além de gerar menos desconforto a população durante o processo de execução. A modificação do álveo gera a preocupação

com o deságue e os diques necessitam de pontos estratégicos bem definidos para serem implantados. O projeto não apresenta estudo de viabilidade econômica, devido a uma série de fatores, que não são os objetivos específicos deste trabalho. Deixando tal ramo de pesquisa a interesse de terceiros.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- BARBOSA, F. A. R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio Mamanguapé/PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial, Bacias Hidrográficas, Geomorfologia, Canais fluviais, Rios Geomorfológicos**. Editora Edgard Blucher. 1981.
- CORDERO, A. et al. **Medidas de controle de cheias e erosões**. Blumenau, 1999.
- DAEE. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, 2005.
- DN74/04 – **Deliberação Normativa COPAM nº 74**. 9 set., 2004.
- FESTIVAL ITAJUBENSE DE CULTURA E ARTE (FICA). **A cidade**. [online], 2015. Disponível em: <<http://www.ficaoficial.com.br/2012/itajuba/a-cidade>> Acesso em: 13 novembro 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), [online], 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2015.
- MAIA, J. L. **Estabelecimento de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Alto Sapucaí, com utilização da sazonalidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.
- MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Unid 5 – Barragens de Terra e Enrocamento. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2004.
- MARCIANO, Alexandre Germano. **Entrevista concedida a Tiago Augusto Lima**. Itajubá, 14 Out. 2015
- MATTOS, A. M. P. **Monitoramento Hidrológico – Via Telefonia Celular – para apoio a Sistemas de Previsão de Cheias**. Itajubá, 2004. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2004.
- MILOGRANA, J.; BAPTISTA, M. B.; CAMPANA, N. A. **Danos diretos à infraestrutura urbana decorrentes de inundações – estimativa para município de Itajubá**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, nov./dez., 2011.
- MONI, A. P. S. **Elaboração de Manchas de inundação para o Município de Itajubá, segundo SIG**. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. Itajubá, 2006.
- MORAES, J. M. **Rio Sapucaí – Vereda da visão de uma Alvorada**. ACR & Associados. 2003.
- NAGEM, F. R. **Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas**. Rio de Janeiro, 2008. 114 p. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ, 2008.
- PINHEIRO, M. V. **Avaliação Técnica e História das enchentes em Itajubá – MG**. Itajubá, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2005.

PINTO, N. et al. **Apostila de Mecânica dos Fluidos I e II**, Engenharia Civil – UFPR, 1997.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Edgar Blucher LTDA. 2005. 277 p.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMAD). **Orientações para obtenção de outorga**. [outorga], 2015. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/>> Acesso em: 11 novembro 2015

TOMAZ, P. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. [S.l.; s.n.], 2011.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. Editora da Universidade. ABRH : EDUSP. Porto Alegre. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Vol. 4. 1993.

VIANNA, A. P. P. 2000. **Utilização de Modelagens Hidrológica e Hidráulica associadas a um sistema de Informações Geográficas para Mapeamento a um Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento de áreas inundáveis. Estudo de caso: Município de Itajubá – MG**. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG – Belo Horizonte. 107 p.

APÊNDICE A – Resultados característicos para o Rio Sapucaí no perímetro urbano de Itajubá

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Seções	Descrição do local	Distância (m)	Cotas (m)	Geometria	Talude	h (m)	bs (m)	b (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)	Declividade (m/m)	Rh (m)	n	V (m/s)	Vazão (m ³ /s)	Vt	T (anos)
1	1800 m a jusante de PT1	0	842	Trapezoidal	45	5,30	44,00	33,40	205	45,86	0,00068	4,47	0,04	1,77	362,67	1,46	5
2	1350 m a jusante de PT1	550		Trapezoidal	45	5,40	40,00	29,20	187	41,89	0,00068	4,46	0,04	1,77	330,50	1,20	5
3	750 m a jusante de PT1	1180		Trapezoidal	45	7,00	38,00	24,00	217	40,45	0,00068	5,36	0,04	2,00	433,50	2,03	10
4	100 m a jusante de PT1	1900		Trapezoidal	45	5,50	37,00	25,20	183	39,07	0,00068	4,68	0,04	1,83	333,99	1,23	5
PT1	Ponte Guaraci Guedes	2350	844	Retangular	90	7,50	38,00	38,00	285	53,00	0,00068	5,38	0,04	2,00	570,28	3,14	25
5	425 m a montante de PT1	2680		Trapezoidal	45	6,10	40,00	27,80	207	42,14	0,00068	4,91	0,04	1,88	389,97	1,68	5
6	750 m a montante de PT1	3230		Trapezoidal	45	6,50	30,00	17,00	153	32,28	0,00068	4,74	0,04	1,84	281,46	0,80	5
7	1300 m a montante de PT1	3540		Trapezoidal	45	7,00	32,00	18,00	175	34,45	0,00068	5,08	0,04	1,93	337,11	1,25	5
PT2	Passarela Juscelina Paiva	3800	847	Retangular	90	6,50	30,00	30,00	207	43,80	0,00068	4,73	0,04	1,84	380,04	1,60	5
8	250 m a montante de PT2	4220		Trapezoidal	45	6,00	40,00	28,00	204	42,10	0,00068	4,85	0,04	1,87	380,81	1,61	5
PT3	Ponte Tancredo Neves	4640	848	Retangular	90	7,30	42,00	42,00	307	56,60	0,00068	5,42	0,04	2,01	617,85	3,53	35
9	400 m a montante de PT3	4940		Trapezoidal	45	5,50	39,00	28,00	184	40,93	0,00068	4,50	0,04	1,78	326,75	1,17	5
PT4	Ponte Rui Gomes Braga	5190	850	Retangular	90	6,30	36,00	36,00	227	48,60	0,00068	4,57	0,04	1,82	413,50	1,87	5
10	250 m a montante de PT4	5370		Trapezoidal	45	7,00	40,00	26,00	231	42,45	0,00068	5,44	0,04	2,02	465,88	2,30	10
11	400 m a montante de PT4	5470		Trapezoidal	45	8,50	36,00	19,00	234	38,98	0,00068	6,00	0,04	2,15	503,89	2,60	15
PTS	Ponte Raulo Paiva	5490	851	Retangular	90	8,00	40,00	40,00	320	56,00	0,00068	5,71	0,04	2,08	666,78	3,92	50
12	20 m a montante de PTS	5770		Trapezoidal	45	6,70	40,00	26,60	223	42,35	0,00068	5,27	0,04	1,97	440,03	2,09	10
13	300 m a montante de PTS	6070		Trapezoidal	45	5,80	34,00	22,40	164	36,03	0,00068	4,55	0,04	1,79	293,63	0,90	5
14	600 m a montante de PTS	6290		Trapezoidal	45	6,80	30,00	16,40	158	32,38	0,00068	4,88	0,04	1,88	296,31	0,92	5
15	800 m a montante de PTS	6530		Trapezoidal	45	6,70	36,00	22,60	196	38,35	0,00068	5,11	0,04	1,93	379,13	1,59	5
PT6	Ponte João B. Rennó	7130	852	Retangular	90	4,60	28,00	28,00	129	37,20	0,00068	3,47	0,04	1,49	192,67	0,09	5
16	600 m a montante de PT6	7970		Trapezoidal	45	6,00	40,00	28,00	204	42,10	0,00068	4,85	0,04	1,87	380,81	1,61	5
17	1400 m a montante de PT6	8870		Trapezoidal	45	6,30	38,00	25,40	200	40,21	0,00068	4,97	0,04	1,90	379,93	1,60	5
PT7	Ponte José Job	9220	853	Retangular	90	9,60	36,00	36,00	346	55,20	0,00068	6,27	0,04	2,22	766,82	4,73	100
18	350 m a montante de PT7	9840		Trapezoidal	45	7,50	43,00	28,00	266	45,63	0,00068	5,83	0,04	2,11	561,70	3,07	20
PT8	Ponte Mário Penock	10550	854	Retangular	90	8,00	36,00	43,00	288	59,00	0,00068	4,88	0,04	1,88	540,27	2,90	20
PT9	Passarela Cond. Heilbrás	11430	855	Retangular	90	9,30	23,00	43,00	214	61,60	0,00068	3,47	0,04	1,50	320,01	1,12	5
19	350 m a montante de PT9	11790	856	Trapezoidal	45	6,50	40,00	27,00	218	42,28	0,00068	5,16	0,04	1,95	424,18	1,96	10

Fonte: (MATTOS, 2004) adaptada.

ANEXO A – Seções de estudo

Seções	Descrição do Local	Distância (m)	Cotas (m)	Geometria	Talude	h (m)	bs (m)	b (m)
1	1800 m a jusante de PT1	0	842	Trapezoidal	45	5,30	44,00	33,40
2	1350 m a jusante de PT 1	550		Trapezoidal	45	5,40	40,00	29,20
3	750 m a jusante de PT1	1180		Trapezoidal	45	7,00	38,00	24,00
4	100 m a jusante de PT1	1900		Trapezoidal	45	5,90	37,00	25,20
PT1	Ponte Guaraci Guedes	2350	844	Retangular	90	7,50	38,00	38,00
5	425 m a montante de PT1	2680		Trapezoidal	45	6,10	40,00	27,80
6	750 m a montante de PT1	3230		Trapezoidal	45	6,50	30,00	17,00
7	1300 m a montante de PT1	3540		Trapezoidal	45	7,00	32,00	18,00
PT2	Passarela Juscélia Paiva	3800	847	Retangular	90	6,90	30,00	30,00
8	250 m a montante de PT2	4220		Trapezoidal	45	6,00	40,00	28,00
PT3	Ponte Tancredo Neves	4640	848	Retangular	90	7,30	42,00	42,00
9	400 m a montante de PT3	4940		Trapezoidal	45	5,50	39,00	28,00
PT4	Ponte Rui Gomes Braga	5190	850	Retangular	90	6,30	36,00	36,00
10	250 m a montante de PT4	5370		Trapezoidal	45	7,00	40,00	26,00
11	400 m a montante de PT4	5470		Trapezoidal	45	8,50	36,00	19,00
PT5	Ponte Randolpho Paiva	5490	851	Retangular	90	8,00	40,00	40,00
12	20 m a montante de PT5	5770		Trapezoidal	45	6,70	40,00	26,60
13	300 m a montante de PT5	6070		Trapezoidal	45	5,80	34,00	22,40
14	600 m a montante de PT5	6290		Trapezoidal	45	6,80	30,00	16,40
15	800 m a montante de PT5	6530		Trapezoidal	45	6,70	36,00	22,60
PT6	Ponte João B. Rennó	7130	852	Retangular	90	4,60	28,00	28,00
16	600 m a montante de PT6	7970		Trapezoidal	45	6,00	40,00	28,00
17	1400 m a montante de PT6	8870		Trapezoidal	45	6,30	38,00	25,40
PT7	Ponte José Job	9220	853	Retangular	90	9,60	36,00	36,00
18	350 m a montante de PT7	9840		Trapezoidal	45	7,50	43,00	28,00
PT8	Ponte Mário Penock	10550	854	Retangular	90	8,00	36,00	43,00
PT9	Passarela Cond. Helibrás	11430	855	Retangular	90	9,30	23,00	43,00
19	350 m a montante de PT9	11790	856	Trapezoidal	45	6,50	40,00	27,00

Fonte: (MATTOS, 2004) adaptada.