



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL



LAMARCK BARBOSA DE ANDRADE

**AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE GRADEAMENTO PARA CONTROLE DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CANAIS DE DRENAGEM - ESTUDO DE
CASO: CANAL DO PRADO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB**

CAMPINA GRANDE
2018

LAMARCK BARBOSA DE ANDRADE

**AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE GRADEAMENTO PARA CONTROLE DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CANAIS DE DRENAGEM - ESTUDO DE
CASO: CANAL DO PRADO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para o encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Recursos hídricos

Orientador: Prof. Doutor Ricardo de Aragão

CAMPINA GRANDE
Março – 2018

LAMARCK BARBOSA DE ANDRADE

**AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE GRADEAMENTO PARA CONTROLE DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CANAIS DE DRENAGEM - ESTUDO DE
CASO: CANAL DO PRADO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para o encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Recursos hídricos

Aprovada em: _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo de Aragão
Orientador
Universidade Federal de Campina Grande

Prof.^a. Dr.^a. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro
Universidade Federal de Campina Grande

Eng. Me. Paulo Vinícius de Moraes Nóbrega
Universidade Federal de Campina Grande

*Dedico este trabalho a minha família e meus amigos,
que sempre me apoiaram, estiveram ao meu lado e me
ajudaram ao longo de mais uma etapa de
construção da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família, que nesses anos de faculdade sempre me apoiaram, estiveram presentes e incentivaram frente aos obstáculos enfrentados. A todos os ensinamentos e exemplos que ajudaram a formar meu caráter e a vontade de continuar.

Gostaria de agradecer também aos meus amigos, em especial aos da graduação, que juntos, conseguimos superar as dificuldades ao longo desse tempo. Alguns momentos não foram fáceis, mas foram neles que aprendi, cresci e me tornei uma pessoa melhor. Amizades essas construídas na faculdade, mas que levarei para a vida. Também agradeço ao meu cunhado Joseilton, que sempre com boa vontade e influência, me auxiliou a conseguir as informações e dados que foram necessários.

Quero agradecer também ao meu orientador Ricardo de Aragão, que sempre com presteza, me auxiliou na condução do trabalho de forma coerente e sensata.

Agradeço também ao Laboratório de Hidráulica do campus da UFCG, por ter cedido as instalações e equipamentos necessários à execução deste trabalho, em especial ao técnico Ismael, que com muita boa vontade me auxiliou na execução dos experimentos; e a Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente de Campina Grande, por terem me recebido e fornecido os dados sobre a gestão da área de estudo.

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE GRADEAMENTO PARA CONTROLE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CANAIS DE DRENAGEM - ESTUDO DE CASO: CANAL DO PRADO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB

RESUMO

Com o crescimento urbano e o desenvolvimento das cidades, muitos problemas passam a surgir como efeitos colaterais da modernização. Dentre esses problemas, pode-se citar o descarte inadequado de grandes volumes de resíduos sólidos urbanos e a impermeabilização excessiva do solo promovida pela pavimentação das vias públicas. Esses dois fatores em conjunto acarretam diversos problemas nas cidades e exigem que haja a implementação de infraestruturas para corrigir, amenizar e evitar os prejuízos e danos causados à população e ao meio ambiente. Como exemplo dessas infraestruturas, é possível citar a drenagem urbana, a coleta e a destinação correta de resíduos sólidos, a coleta e tratamento de esgoto, o abastecimento de água, a limpeza pública, dentre outros. A má gestão desses serviços constitui a principal causa de impactos ambientais das mais diversas naturezas e magnitudes. Dentre esses impactos, destacam-se os alagamentos nas cidades, bem como a perda de qualidade de vida, sobretudo nos países em desenvolvimento. Nesse âmbito, surge o papel da engenharia, promovendo soluções para cada caso e elaborando diretrizes a fim de se combater tais adversidades. O estudo em questão apresenta dados técnicos coletados no canal do Prado, bem como o seu atual cenário, e analisa medidas para a retenção dos resíduos sólidos, a fim de se evitar o mal funcionamento desse canal, um dos responsáveis pela macrodrenagem da cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba que atualmente recebe uma carga elevada desses resíduos, descartados indevidamente em virtude da falta de conscientização por parte da população no que se refere à correta destinação do lixo, prejudicando o perfeito funcionamento dos dispositivos de drenagem e conseqüentemente gerando inundações, poluição dos mananciais e proliferação de doenças. Tomando esse fato como algo existente, real e recorrente nas cidades e considerando o que os educadores já tenham feito sua parte, surge novamente a engenharia com possíveis soluções para tais problemas.

Palavras-chave: Drenagem urbana; impermeabilização do solo; resíduos sólidos urbanos; engenharia; meio ambiente;

ABSTRACT

The urban growth and the development of cities, cause many problems which emerging as the side effects of modernization. Among these problems, we can mention the disposal of large volumes of urban solid waste and an excessive waterproofing of the soil promoted by the paving of public roads. These two factors together entail several problems in the cities and require the implementation of infrastructures to correct, ameliorate and avoid the damages caused to the population and the environment. For example, we can mention urban drainage, collection and correct disposal of solid waste and sewage, water supply, public cleaning, among others. Their mismanagement is one of the main problems of increasing environmental impacts and flooding problems in cities, as well as the loss of quality of life, especially in developing countries. In this area, the role of engineering emerges, promoting solutions for each case and developing guidelines to combat adversity. The study in question presents possible solutions for the retention of soil residues in the Prado channel, one of those responsible for the macro drainage of the city of Campina Grande, in the state of Paraíba, and currently receiving a high daily load of these residues, motivated by a cultural issue and social conditions, which are understood by the population as regards the correct disposal of garbage, preventing the correct functioning of drainage devices and consequently generating floods, pollution of water sources and proliferation of diseases. Taking this fact as something existing, real and recurrent in the cities and considering that educators have already done their part, engineering again appears with possible solutions to such problems.

Keywords: Urban drainage; waterproofing of soil; urban solid waste; engineering; trash; environment;

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Evolução da taxa de urbanização no Brasil entre 1940 e 2010.....	17
Figura 02 - Comparação entre os picos da vazão máxima de uma área urbanizada com outra não urbanizada.....	19
Figura 03 – Geração e coleta de RSU no Brasil (2010 a 2014)	22
Figura 04 – Forças que agem na partícula sobre o segregador.....	26
Figura 05 – Esquema de funcionamento do sistema Dual Vane.....	27
Figura 06 – Sistema Dual Vane.....	27
Figura 07 - Estrutura SCS: primeira configuração.....	28
Figura 08 - Estrutura CDS.....	29
Figura 09 – Limpeza manual do dispositivo GRSD.....	30
Figura 10 – Estação de retenção de resíduos sólidos através dos dispositivos GSRD.....	31
Figura 11 - Estrutura SEPT.....	32
Figura 12 – Esquema de Gradeamento em canais de drenagem.....	33
Figura 13 – Exemplo de um sistema de gradeamento em canal.....	34
Figura 14 - Exemplo de gradeamento com cesto coletor em canal.....	34
Figura 15 – Localização de Campina Grande na bacia do Rio Paraíba.....	35
Figura 16 – Rede de drenagem da cidade de Campina Grande.....	36
Figura 17 – Bacia Urbana do Canal do Prado e suas Sub-bacias.....	37
Figura 18 – Canal do Prado (em vermelho)	37
Figura 19 – Distribuição Populacional(hab.) na Bacia Urbana do Prado.....	38
Figuras 20 – Atual situação de limpeza do canal do Prado.....	39
Figura 21 – Lixo presente em uma das galerias que descarrega no Canal do Prado.....	40
Figuras 22 – Resíduos sólidos - canal do Prado.....	41
Figura 23 – Trena de medição.....	42
Figura 24 – Medição das dimensões do canal Do Prado.....	43
Figura 25 – Determinação da Velocidade de Escoamento – Método Indireto.....	44
Figura 26 - Malha de abertura 2,5 cm.....	46
Figura 27 – Malha de abertura 5 cm.....	46
Figura 28 – Malha de abertura 7,5 cm.....	47
Figura 29 – Canal de recirculação do laboratório de hidráulica da UFCG.....	47

Figura 30 – Suporte Das Malhas Para Fixação No Canal.....	48
Figura 31 – Esboço Da Seção Do Canal Com a Média Dos Valores Medidos.....	49
Figura 32 – Composição Gravimétrica de RSU no Canal.....	50
Figura 33 – Imagem de uma Lauda do Projeto Original do Canal do Prado.....	53
Figura 34 – Instalação e fixação da malha 2.5 cm no canal de simulação.....	54
Figura 35 - Comportamento dos resíduos na malha 2,5 cm, com 5 cm de altura da lâmina.....	54
Figura 36 – Instalação e Fixação da Malha de Abertura 5.0 cm no Canal e Simulação.....	55
Figura 37 – Comportamento dos Resíduos na Malha 5.0, com Lâmina de 5,0 cm.....	56
Figura 38 – Comportamento do Sistema com a vazão elevada.....	57
Figura 39 – Instalação e Fixação da Malha de Abertura 7,5 cm no Canal de Simulação.....	58
Figura 40 – Comportamento dos Resíduos na Malha 7.5 cm Com Aumento na Vazão.....	59
Figura 41 – Imagem de Satélite Apresentando os Pontos de Instalação.....	60
Figura 42 – Ponto Estratégico de Instalação 1 e Suas Respectivas Dimensões.....	61
Figura 43 - Ponto Estratégico de Instalação 2 e Suas Respectivas Dimensões.....	61
Figura 44 - Ponto Estratégico de Instalação 3 e Suas Respectivas Dimensões.....	62
Figura 45 - Ponto Estratégico de Instalação 4 e Suas Respectivas Dimensões.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas

PB - Paraíba

PMCG – Prefeitura Municipal de Campina Grande

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SESUMA – Secretaria de serviços urbanos e meio ambiente

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Determinação da Velocidade de Escoamento.....	44
Equação 02 – Determinação do Raio Hidráulico.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo Geral.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1. Sistemas de Drenagem Urbana.....	16
3.2. Efeitos da Urbanização sobre o Escoamento Superficial.....	17
3.3. Medidas de Controle.....	20
3.4. Resíduos Sólidos Urbanos – RSU.....	21
3.4.1. Conceito.....	21
3.4.2. RSU nos Equipamentos de Drenagem.....	22
3.4.3. Características dos RSU e os Impactos Ambientais daí Decorrentes.....	24
3.5. Medidas Estruturais de Controle de RSU em Canais de Drenagem.....	25
3.5.1. Dual Vane Trap.....	26
3.5.2. Sistema de Limpeza de Águas Pluviais.....	28
3.5.3. Sistema de Separação Contínua.....	29
3.5.4. Dispositivo de Retenção de Resíduos Grosseiros.....	30
3.5.5. Dispositivo de Retenção para Bocas-de-Lobo.....	31
3.5.6. Gradeamento.....	33
4. METODOLOGIA.....	35
4.1. Caracterização da Área Estudada.....	35
4.1.1. A Bacia Urbana do Prado.....	36
4.2. O Canal do Prado.....	37
4.2.1. Diagnóstico da Atual Situação do Canal do Prado.....	39
4.3. Coleta e Processamento de Dados.....	42
4.3.1. Determinação das Dimensões.....	42
4.3.2. Determinação da Inclinação.....	43
4.3.3. Determinação da Velocidade de Escoamento Média.....	43
4.3.4. Quantificação e Caracterização dos RSU no Canal.....	44

4.4. Escolha do Tipo de Sistema.....	45
4.5. Eficiência do Sistema de Gradeamento.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1. Composição Gravimétrica dos RSU no Canal do Prado.....	49
5.2. Velocidade Média de Escoamento.....	50
5.3. Parâmetro de Semelhança.....	51
5.3.1. Inclinação do Canal.....	52
5.4. Análise das Malhas.....	53
5.4.1. Malha de Abertura 2,5 cm.....	53
5.4.2. Malha de Abertura Cinco cm.....	55
5.4.3. Malha de Abertura 7.5 cm.....	57
5.5. Escolha do Sistema e Definição dos Pontos de Utilização.....	59
6. CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Considerando as consequências negativas dos constantes processos de industrialização e urbanização, é possível citar a deficiência dos serviços de infraestrutura das cidades. Muitos problemas estão presentes nas áreas de uso público e indiferente desta realidade, os sistemas de drenagem urbana sofrem interferências em seu funcionamento, e quando falham, trazem graves problemas a uma sociedade, principalmente nas épocas de chuvas. A deficiência na coleta de resíduos sólidos somadas à incorreta destinação por parte da sociedade, provocam um aumento exponencial aos danos causados nos sistemas de drenagem, impactando, portanto, não só na qualidade de vida da população, como também ao meio ambiente.

É fato que o consumo de bens e serviços tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, favorecidos por esse desenvolvimento urbano, aliado à uma cultura capitalista, gerando conseqüentemente um aumento no volume de descarte de resíduos. Esse desenvolvimento, portanto, exige a implementação de infraestruturas de abastecimento de água, coleta e tratamento do esgoto, drenagem urbana, coleta e disposição de resíduos sólidos e limpeza pública. A sua gestão inadequada é uma das causas da perda de qualidade de vida e dos impactos ambientais crescentes nas cidades, sobretudo nos países em desenvolvimento. Os componentes citados possuem uma forte interface entre si, impedindo o desenvolvimento urbano com base na gestão integrada.

Dentre os serviços de saneamento básico, a drenagem urbana e o manejo das águas pluviais se revestem de grande importância, particularmente pela sua capacidade de afastar estas águas dos centros urbanos para outros locais. A Lei 11.445/2007 define este sistema como sendo um “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas” (BRASIL, 2007).

Quando elaborados corretamente, esses sistemas trazem diversos benefícios à população e ao meio ambiente prevenindo os danos causados por alagamentos, enchentes, enxurradas, deslizamentos e erosões. Os projetos de drenagem urbana têm como meta escoar a água precipitada o mais rápido possível com segurança para a jusante da área drenada até encontrar um rio mais próximo, sem causar impactos.

Os sistemas de drenagem urbana pluvial, em função do tipo de cobertura do terreno, carreiam uma quantidade variável de sedimentos. Acabam também direcionando aos cursos d'água resíduos sólidos indesejáveis, devido a fatores como disfunções urbanas de serviços, infraestrutura e condições socioeconômicas e culturais. A chegada de todos esses tipos de resíduos à drenagem urbana pode ser voluntária ou acidental. Desta forma, a sua composição em córregos, galerias, tubulações pluviais e bocas-de-lobo pode ser extremamente variada, em função das características da bacia, da gestão dos resíduos sólidos e da educação da população. Esses resíduos ao atingirem os mananciais hídricos provocam uma série de impactos ambientais à fauna e flora, comprometendo o equilíbrio dos ecossistemas. (Righetto, 2009)

Com expressão dessa realidade, a problemática também está presente no canal do Prado, um importante equipamento de drenagem da cidade de Campina Grande, segunda maior cidade do Estado da Paraíba e que atualmente é utilizado erroneamente por parte da população como destino de resíduos sólidos urbanos, o que conseqüentemente causa acúmulo, redução de seção do canal e por conseqüência, gerando problemas de inundação da região. Portanto, faz se necessário um estudo da quantidade destinada, técnicas para reter esses resíduos, ou mesmo evitar que a população adote essas práticas incorretas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Apresentar técnicas de retenção de resíduos sólidos aplicados a canais de drenagem, a fim de utilizar a mais viável no canal do Prado na cidade de Campina Grande - PB, para contribuir com o perfeito funcionamento do sistema e reduzir a presença de RSU nos córregos à jusante do canal.

2.2. Objetivos Específicos

- Efetuar um levantamento bibliográfico dos dispositivos retentivos existentes, e verificar os mais adequados para implantação no canal do Prado em Campina Grande-PB.
- Avaliar qualitativamente a atual situação do serviço de limpeza urbana na região de contribuição do canal do Prado;
- Identificar os tipos de resíduos sólidos que atingem o sistema de drenagem do canal do Prado;
- Desenvolver experimentos em canal de laboratório para certificar a eficiência do método mais favorável.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Sistemas de Drenagem Urbana

A drenagem urbana é o conjunto de medidas que objetivam o correto escoamento da água nos centros urbanos. São projetadas a fim de evitar que a água se acumule em pontos indesejados trazendo danos à população, contribuindo para o bem-estar social e à qualidade de vida. Segundo a Lei nº11.445 de 2007, que estabelece diretrizes para o saneamento básico, a drenagem urbana é definida como:

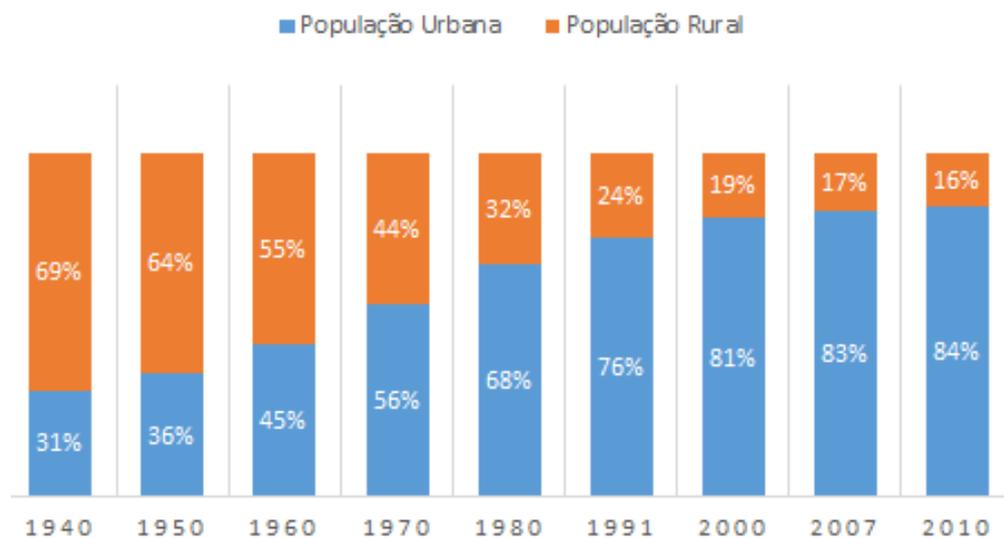
Art. 3. § I - d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas. (BRASIL,2007)

Os sistemas tradicionais de drenagem urbana são divididos em microdrenagem e macrodrenagem. O sistema inicial de drenagem ou de microdrenagem é aquele composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias de águas pluviais e, também, canais de pequenas dimensões (SÃO PAULO, 1999). Já o sistema de macrodrenagem é constituído, em geral, por canais de maiores dimensões e envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. É responsável pelo escoamento final das águas, e pode ser formada por canais naturais ou artificiais, galerias de grandes dimensões e estruturas auxiliares. A macrodrenagem de uma zona urbana corresponde à rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação (BRASIL, 2006). A visão convencional da drenagem urbana tinha como princípios apenas a remoção das águas pluviais para jusante, e a execução de projetos e obras como medidas estruturais para solucionar os problemas de escoamento superficiais e a base de análise era somente econômica. Já a visão moderna busca a compreensão integrada do meio ambiente (social, legal, institucional e tecnológica), visando resolver os problemas gerenciais através de componentes políticos.

3.2. Efeitos da Urbanização sobre o Escoamento Superficial

O crescimento urbano nas últimas décadas tem sido consideravelmente acelerado, como ilustra a Figura 01, trazendo efeitos colaterais preocupantes e necessários de serem considerados no planejamento urbano das cidades. O aumento da população, principalmente em polos regionais de crescimento e a expansão irregular da periferia tem produzido impactos significativos na infraestrutura de recursos hídricos, e um dos principais impactos que tem ocorrido na drenagem urbana é a forma de aumento da frequência e magnitude das inundações, o aumento da vazão máxima e consequentemente da degradação ambiental.

Figura 01 – Evolução da taxa de urbanização no Brasil entre 1940 e 2010



(Fonte: IBGE, 2013)

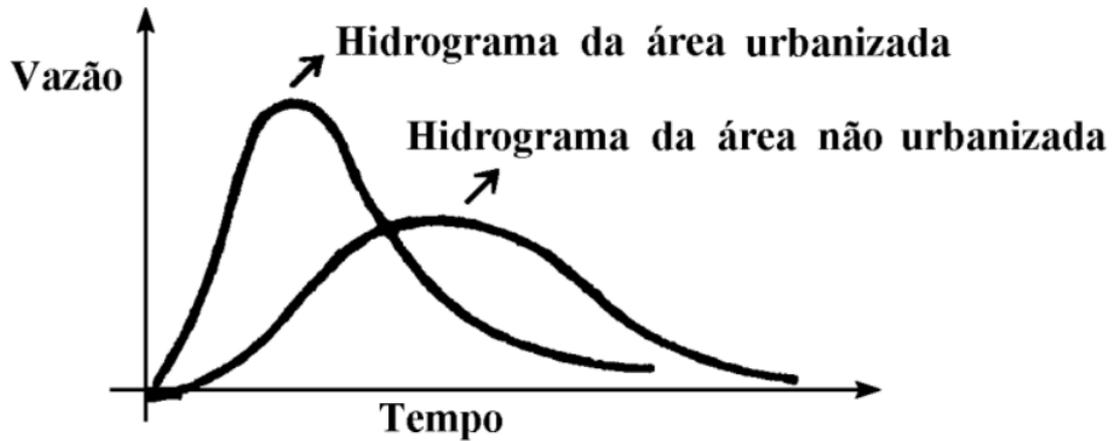
Os principais efeitos da urbanização sobre a vazão máxima são:

- O pico de cheia em uma bacia impermeabilizada é 6 vezes maior;
- A cobertura vegetal da área urbana influencia diretamente na vazão, a partir da chuva;
- As precipitações críticas são mais intensas e frequentes;
- No início da chuva é que ocorre o maior pico de poluição uma vez que o pavimento é lavado e toda a água segue para um corpo hídrico mais próximo.

As áreas urbanas vêm sendo cada vez mais impermeabilizadas, gramados e áreas verdes são substituídos por calçadas e pavimentos, as áreas de telhados são expandidas, fazendo com que o volume de água escoado nas ruas aumente de forma significativa. Segundo dados da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento) o consumo de água por pessoa/dia é de 200 litros e o despejo de esgoto é de 160 litros, o que agrava ainda mais a situação. Dentre os principais impactos das inundações sobre a população estão: os prejuízos de perdas materiais e humanos, a interrupção da atividade econômica das áreas inundadas, a contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outros e a contaminação da água pela inundação de depósito de materiais tóxicos, estações de tratamento, entre outros. (BORGES, 2004).

A urbanização caótica e o uso inadequado do solo provocam a redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios e estes, por sua vez, demandarão outros locais para ocupar. Historicamente, os engenheiros responsáveis pela drenagem urbana tentaram solucionar o problema da perda do armazenamento natural, provocando o aumento da velocidade dos escoamentos com obras de canalização. A aceleração dos escoamentos teve como efeito transferir para jusante o problema de redução de espaços naturais. Quanto menor o tempo de concentração, maior o pico de vazão a jusante. Isso com frequência, traz inundação em áreas que anteriormente não sofriam tais problemas, visto que a ocupação urbana nos vales normalmente se desenvolve no sentido de jusante para montante (CANHOLI, 2014). Comparando os picos da vazão máxima entre uma bacia localizada em área urbana e outra na área rural, Tucci (2007) elabora uma figura para representar como ocorre esse processo (Figura 02). É interessante observar que o pico de vazão na bacia urbana ocorre em um período de tempo menor do que o da área não urbanizada, o que permite comparar que nas cidades a população que vive próxima ao rio sofrerá mais rapidamente com a inundação do rio, vale lembrar também a quantidade de pessoas que serão afetadas, já que as ocupações de uma cidade são bem mais próximas do que as ocupações das propriedades rurais (MENDES, 2014).

Figura 02- Comparação entre os picos da vazão máxima de uma área urbanizada com outra não urbanizada.



Fonte: TUCCI (2007)

Diversas leis têm sido formuladas e jurisprudências são adotadas para proteger os atingidos por tais problemas, ao longo das últimas décadas, principalmente nos países mais desenvolvidos. A falha em incorporar a drenagem na fase inicial do desenvolvimento urbano em geral resulta em projetos muito dispendiosos ou, em estágios mais avançados, na sua inviabilidade técnico-econômica (BRAGA, 1994). Esse cenário demonstra a importância do planejamento integrado e abrangente dos sistemas de drenagem urbana e expõe os conflitos, aos quais o planejador deve dar respostas apropriadas.

Segundo Braga (1994), a maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, experimentou nas últimas décadas uma expansão urbana com precária infraestrutura de drenagem, advindo os problemas de inundação principalmente da rápida expansão da população urbana, do baixo nível de conscientização do problema, da inexistência de planos a longo prazo, da utilização precária de medidas não estruturais e da manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias.

3.3. Medidas de Controle

As medidas de correção e/ou prevenção visam minimizar os danos das inundações e são classificadas, de acordo com sua natureza, em medidas estruturais e medidas não estruturais. As medidas estruturais correspondem às obras que podem ser implantadas visando a correção e/ou prevenção dos problemas decorrentes de enchentes. Compreendem as obras de engenharia que podem ser caracterizadas como medidas intensivas e extensivas. As medidas intensivas, de acordo com seu objetivo, podem ser de quatro tipos: de aceleração do escoamento: canalização e obras correlatas; de retardamento do fluxo: reservatórios (bacias de detenção/retenção), restauração de calhas naturais; de desvio do escoamento: túneis de derivação e canais de desvio; e que englobem a introdução de ações individuais visando tomar as edificações à prova de enchentes. Por sua vez, as medidas extensivas correspondem aos pequenos armazenamentos disseminados na bacia, à recomposição de cobertura vegetal e ao controle de erosão do solo, ao longo da bacia de drenagem.

As medidas não estruturais são aquelas em que se procuram reduzir os danos ou as consequências das inundações, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem por exemplo, o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alerta e conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem. Em contraposição às medidas estruturais, que podem criar uma sensação de falsa segurança e até induzir à ampliação da ocupação das áreas inundáveis, as ações não estruturais podem ser eficazes a custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação. Considerando aquelas mais adotadas, as medidas não estruturais podem ser agrupadas em: ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e lixo; seguro-enchente; e sistemas de alerta e previsão de inundações. (CANHOLI 2014)

3.4. Resíduos Sólidos Urbanos - RSU

3.4.1. Conceito

Segundo a ABNT (2004), resíduos sólidos são aqueles que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Existem também na literatura várias definições para o termo “resíduos sólidos”, sendo algumas mais elaboradas que outras:

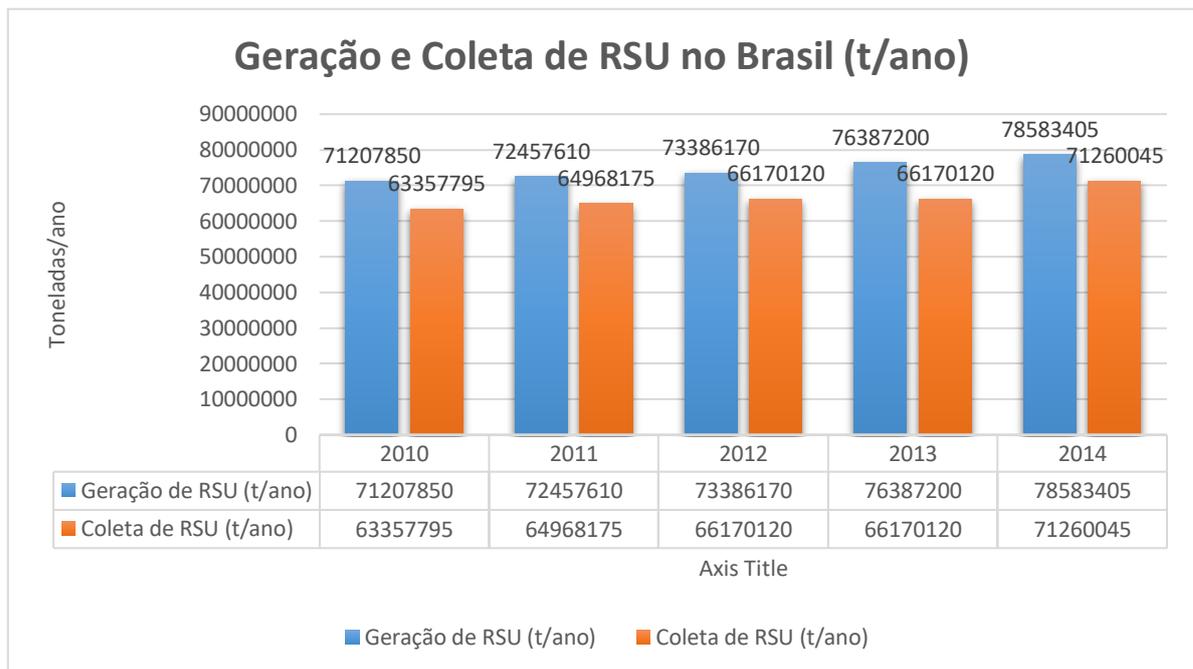
“Os resíduos sólidos são materiais heterogêneos (inertes, minerais e orgânicos) resultantes das atividades humanas e da natureza, os quais podem ser parcialmente utilizados, gerando, entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais. Os resíduos sólidos constituem problemas sanitários, econômicos e principalmente estéticos.” (CARVALHO E NOGUEIRA, 2008)

No presente trabalho será tratado os resíduos sólidos urbanos (RSU), de acordo com a norma NBR.10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004), vulgarmente denominados como lixo urbano, e são resultantes da atividade doméstica e comercial dos centros urbanos. A composição varia de população para população, dependendo da situação socioeconômica e das condições e hábitos de vida de cada um. Esses resíduos podem ser classificados das seguintes maneiras (com alguns exemplos em seguida):

- **Matéria orgânica:** restos de comida;
- **Papel e papelão:** jornais, revistas, caixas e embalagens;
- **Plásticos:** garrafas, garrações, frascos, embalagens;
- **Vidro:** garrafas, frascos, copos;
- **Metais:** latas;
- **Outros:** roupas, óleos de motor, resíduos de eletrodomésticos.

Os principais componentes dos RSU são restos de comidas, jornais, e revistas, garrafas, embalagens, têxteis, latas de alumínio, podendo também apresentar resíduos com substâncias químicas perigosas, sendo mais comum observar a presença de pilhas, baterias, remédios, lâmpadas, tintas e solventes gerados pelas atividades cotidianas de seus residentes. A Figura 03 ilustra a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados e coletados no Brasil no período de 2010 a 2014.

Figura 03 – Geração e coleta de RSU no Brasil (2010 a 2014)



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2010 a 2014)

3.4.2. Resíduos Sólidos Urbanos nos Equipamentos de Drenagem

Dentro do contexto apresentado, está a problemática do despejo dos resíduos sólidos inadequadamente, atingindo as redes de drenagem urbana. Estes resíduos se acumulam na vizinhança de shopping centers, estacionamentos, saídas de fast foods, estações rodoviárias e ferroviárias, estradas, escolas, parques públicos e jardins, contêineres, locais de aterros e depósitos de reciclagem. Nestes locais, permanecem até serem ou removidos pela autoridade local, ou serem transportados pelo vento e/ou escoamento superficial, atingindo o sistema de drenagem. Eles se constituem principalmente de materiais manufaturados como garrafas, latas, envelopes de papel e plástico, jornais, sacolas de compras, embalagens de cigarro, mas também partes de carros, restos de construção e colchões velhos (ARMITAGE e ROOSEBOOM, 2000a e ARMITAGE et al., 1998).

Os sistemas de drenagem pluvial urbana, em função do tipo de cobertura do terreno, carregam uma quantidade variável de sedimentos. Acabam também direcionando aos cursos d'água resíduos sólidos indesejáveis, devido a fatores como disfunções urbanas de serviços, infraestrutura e condições socioeconômicas e culturais (RIGHETTO,2009). Tucci (2002) destaca três estágios distintos de produção de material sólido na drenagem urbana em função do grau de ocupação ou nível de urbanização:

- 1) Estágio inicial: é originado pelo escoamento superficial em solos desprotegidos. Ocorre no início da ocupação de uma bacia. Com a retirada/modificação da cobertura natural, o solo fica exposto e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a produção de sedimento. Nesta fase existe predominância dos sedimentos e pequena produção de resíduos sólidos.
- 2) Estágio intermediário: parte da bacia já está ocupada pela população, porém ainda existe movimentação de terra devido a novas construções. A produção de resíduos se soma ao processo de produção de sedimentos.
- 3) Estágio final: é originado pelo escoamento superficial em ruas, avenidas e casa, em superfícies urbanas consolidadas. Nesta fase existe predominância dos resíduos sólidos e pequena produção sedimentos.

A chegada de todos esses tipos de resíduos à drenagem urbana pode ser voluntária ou acidental. Desta forma, a composição em córregos, galerias, tubulações pluviais e bocas-de-lobo pode ser extremamente variada, em função das características da bacia, da gestão dos resíduos sólidos e da educação da população. Segundo Righetto (2009), o impacto causado pelos resíduos sólidos na drenagem urbana tem dois aspectos:

- Impacto físico: os resíduos sólidos entopem ou obstruem elementos do sistema de drenagem ou diminuem sua capacidade de escoamento por depósitos e assoreamentos
- Impacto na qualidade da água: os resíduos domésticos e industriais podem conter substâncias químicas, organismos e matéria orgânica que alteram a qualidade da água circulante nos sistemas de drenagem e nos corpos receptores. (RIGHETTO,2009).

Brites (2005) complementa que os resíduos sólidos nos corpos de água urbanos causam má aparência, perturbam o habitat natural, degradam a qualidade da água, aumentam a propagação de doenças, podem causar a morte de animais aquáticos, além de impedirem o funcionamento hidráulico dos sistemas de drenagem. Uma vez no sistema de drenagem, os

resíduos sólidos podem ser transportados nos condutos, arroios, rios, lagos e estuários até eventualmente alcançarem o mar, nas cidades litorâneas. É importante destacar que este fato é comum na maioria das cidades brasileiras, principalmente naquelas de médio e grande porte.

3.4.3. Características dos Resíduos e os Impactos Ambientais daí Decorrentes

Dentre os diversos resíduos encontrados no descarte dos RSU, os elementos flutuantes são os que trazem uma maior preocupação à biodiversidade. Isto porque são facilmente transportados no sentido do fluxo da água e conseguem atingir grandes distâncias desde seu ponto de descarte. Muitos desses resíduos atingem os mananciais hídricos e o oceano, estes que por sua vez são confundidos como alimento pelos animais aquáticos, que acabam ingerindo e comprometendo o equilíbrio natural do ecossistema.

Os RSU também podem ameaçar a saúde das pessoas que frequentam os corpos d'água para banho ou natação. São especialmente perigosos as bactérias e os vírus, geralmente associados com a presença de têxteis sanitários, de material médico descartado (como seringas hipodérmicas e pipetas) e de resíduos de humanos e de animais. Adicionalmente, cacos de vidro ou fragmentos de metais cortantes em leitos de córregos podem causar cortes ou lacerações. Tais ferimentos podem expor a corrente sanguínea da pessoa aos micróbios da água, os quais podem causar doenças. Também alguns itens de lixo, como recipientes e pneus, podem acumular água e favorecer a geração de mosquitos e riscos associados de doenças, tais como a encefalite, a febre do Nilo e a dengue. Os restos vegetais constituem lixo quando há evidência de que foram intencionalmente despejados. Folhas e sementes de pinheiro em córregos propiciam uma fonte natural de alimentação de organismos, mas em níveis excessivos por ação humana podem causar desequilíbrio no balanço de nutrientes e diminuir o oxigênio dissolvido, em detrimento do ecossistema aquático. O impacto na vida selvagem causado pelos RSU ocorre em bacias, lagos, estuários e, por fim, nos oceanos. Os dois problemas primários que os RSU impõem a vida selvagem são a ingestão e o enroscamento. Mamíferos marinhos, tartarugas, pássaros, peixes e crustáceos frequentemente se enredam em resíduos flutuantes ou os ingerem. Muitas das espécies mais vulneráveis aos resíduos flutuantes estão em perigo ou ameaçadas de extinção. (RIGUETTO, 2009)

O enredamento é prejudicial para a fauna selvagem por diversas razões: não apenas provocam feridas que podem levar a infecções ou perda de membros, mas também podem causar estrangulamento ou sufocação; além disso, pode prejudicar a capacidade de nadar de um

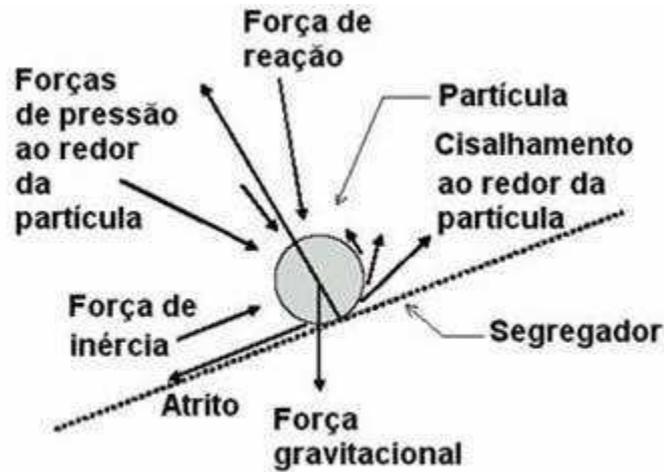
animal, o que pode resultar em afogamento ou na dificuldade em se deslocar, encontrar alimento ou fugir de predadores (USEPA, 2001).

A ingestão de resíduos flutuantes ocorre porque os animais os confundem com alimento. A ingestão pode levar a morte pela fome ou a desnutrição, se os itens ingeridos bloquearem o trato intestinal e impedirem a digestão ou se acumularem no tubo digestivo, fazendo com que o animal se sinta “cheio”, diminuindo, assim, o seu desejo de alimentação. A ingestão de objetos pode causar lesões na boca, no trato digestivo e/ou no estômago e causar dor ou infecção. Detritos ingeridos também podem bloquear passagens aéreas e impedir a respiração, causando a morte (USEPA, 2001)

3.5. Medidas Estruturais de Controle de Resíduos Sólidos em Canais de Drenagem

No estudo de medidas estruturais, se busca uma configuração de sistema com a maior eficiência possível, se adaptando às medidas do canal, à quantidade média de resíduos a serem coletados e à periodicidade da limpeza, evitando que interfiram na capacidade de escoamento e vazão do canal. Alguns sistemas tem a capacidade de serem autolimpantes, usando a própria força da água para empurrarem os resíduos sólidos para pontos estratégicos. Estas estruturas têm que ser concebidas de uma maneira que, para serem efetivas, deveriam declinar um segregador em direção ao fluxo (este cai na direção predominante) e estarem continuamente sujeitas a uma lâmina d'água de alta velocidade para maximizar o gradiente de velocidade e dessa forma promover um cisalhamento na superfície do segregador. Isto vem do fato que há forças agindo nas partículas como mostrado na Figura 04. Estas forças produzem arraste, sustentação e rotação (ARMITAGE e ROOSEBOOM, 1998, ARMITAGE e ROOSEBOOM, 2000b e ARMITAGE et al., 1998). Em outras palavras, as estruturas autolimpantes são pensadas com a função de utilizar a força da água para empurrar o resíduo, limpando o segregador (tela ou grade), e desviando-o ou não para um local de acumulação, onde a frequência de limpeza possa ser menor, agindo com mínima perda de carga. Os defletores variam podendo ser dispostos com um determinado ângulo em relação ao escoamento, suspensos ou não, em geral compostos de um gradeamento.

Figura 04 – Forças que agem na partícula sobre o segregador



Fonte: adaptado de ARMITAGE et al., 1998.

Existem na literatura, diversos mecanismos e metodologias para a coleta de resíduos sólidos em canais de drenagem, podendo estes ser autolimpantes ou não. Alguns desses sistemas são patenteados e utilizados pelo mundo, a depender da região, do volume de resíduos lançados e seu potencial perigo bem como as propriedades do canal. Algumas dessas principais estruturas estão listadas a seguir.

3.5.1. Dual Vane Trap

O sistema Dual Vane é patentado pela empresa Australiana *Baramy* e utiliza placas verticais estrategicamente colocadas em diferentes alturas e ângulos, para orientar os poluentes para o compartimento de contenção. Utiliza a energia disponível no fluxo de água para transportar os poluentes brutos nas baías de contenção que pode ser drenado seco após a redução do fluxo. O sistema Dual Vane destina-se a capturar a classe de poluentes brutos, no entanto, a história mostra que eles capturam uma quantidade variável de sedimentos e óleos também. Os poluentes brutos são algo maior do que os sedimentos e podem consistir em qualquer coisa, desde sofás e pneus de caminhão até pontas de cigarros e sacos de plástico. Eles podem ser orgânicos ou não orgânicos. A Figura 05 mostra o esquema de funcionamento do sistema Dual Vane.

Figura 05 – Esquema de funcionamento do sistema Dual Vane.



Fonte: Imagem adaptada/ baramy.com.au/gpr-dualvane

O sistema “Dual Vane” é adequado para tratar águas oriundas de grandes encanações, canais de porte médios a grandes, galerias, drenos e fluxos naturais. O tamanho do sistema depende de vários fatores, como a área seccional Secundária da fonte da água, velocidade, tipo e tamanho de captura e fluxo tratável necessário. Embora o sistema Dual Vane seja normalmente feito *in loco*, elas podem ser construídas usando uma combinação de métodos, o que corresponda às condições do local. O equipamento padrão e a construção modular combinam-se para facilitar a instalação com mínima interrupção ou alteração nas condições existentes. A escavação profunda não é necessária, e a limpeza depende das características de acesso do local, e geralmente podem ser feitas de forma manual, ou com o auxílio de equipamentos específicos. Um exemplo de funcionamento está presente na Figura 06.

Figura 06 – Sistema Dual Vane

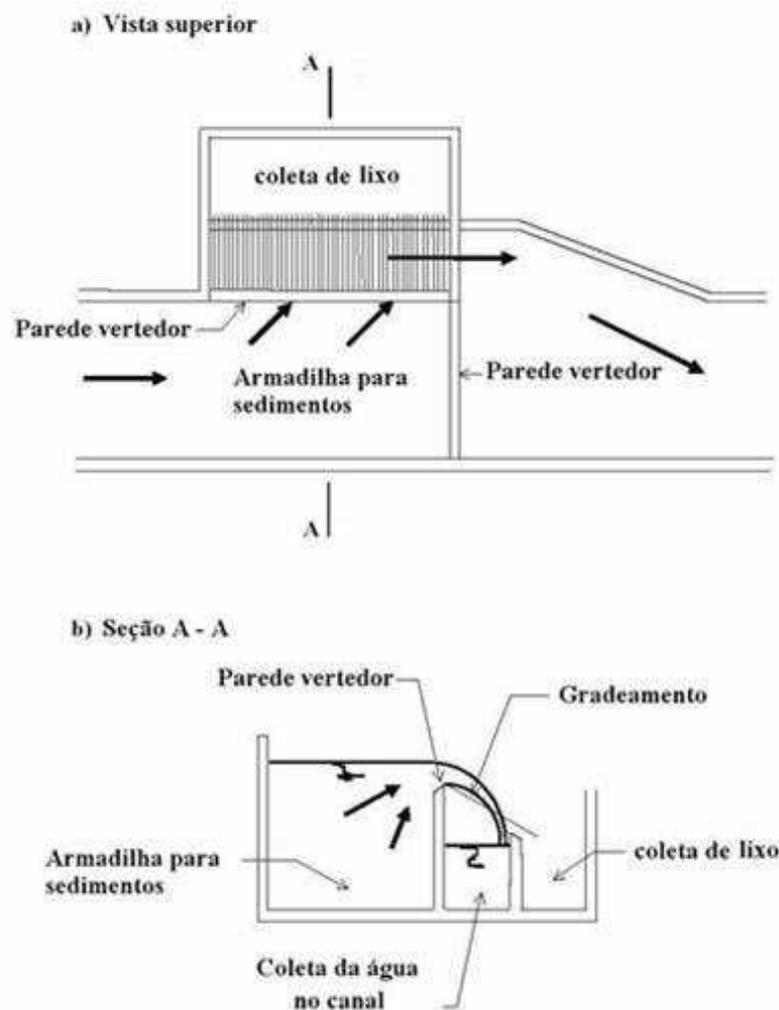


Fonte: Baramy, 2017

3.5.2. Estrutura SCS - Stormwater Cleaning Systems

Esse sistema é similar ao “Dual Vane Trap” e é um exemplo de estrutura autolimpante simples e razoavelmente eficiente: é a SCS (*Stormwater Cleaning Systems*), utilizada em Springs, África do Sul. Neste estudo, a função da estrutura era forçar o escoamento sobre o vertedor e através de um gradeamento inclinado em aproximadamente 45 graus, interceptando o resíduo pelo gradeamento e forçando-o a cair em um compartimento, onde seria removido. Foram consideradas duas alternativas de disposição da estrutura: com o vertedor diretamente colocado na trajetória de fluxos pequenos vindos, por exemplo, de um conduto; com o vertedor colocado na lateral, para altos fluxos em canais (Figura 07).

Figura 07 - Estrutura SCS: primeira configuração



Fonte: adaptado de ARMITAGE et al. (1998)

Como vantagens desse sistema, tem-se que (ARMITAGE et al., 1998):

- Pode suportar relativamente altos fluxos (até $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ou mais se necessário) com facilidade;
- Manutenção desprezível;
- Fácil de limpar;
- Baixo risco de fermentação tóxica;
- Relativamente segura para o público e trabalhadores.

Como desvantagens, (ARMITAGE et al., 1998):

- Requer alta carga
- Em geral requer que uma grande área do terreno seja cercada para evitar o contato do público com o resíduo capturado.

3.5.3. Estrutura CDS – Continuous Deflective Separation

Neves e Tucci (2008) também citam a estrutura CDS que teve uma eficiência próxima a 100%, usada em Coburg, cidade do estado da Bavaria na Alemanha. De acordo com estas fontes, o dispositivo é enterrado, requerendo uma área de 10 a 20 m². A CDS desvia a vazão e os poluentes associados para um compartimento de separação (Figura 08), o qual vem a ser um reservatório na base e uma seção de separação no topo. A água e os sólidos ficam em contínuo movimento, evitando o bloqueio da placa perfurada. Os sólidos sedimentam-se por sua densidade e o material flutuante fica na superfície da água.

Figura 08 - Estrutura CDS



Fonte: Contech Engineered Solutions, 2017

3.5.4. *Gross Solids Removal Devices – GSRD*

Os dispositivos de retenção de sólidos grosseiros, ou *Gross Solids Removal Devices* (GSRD), foram desenvolvidos pelo Departamento de Transportes da Califórnia, Estados Unidos (California Department of Transportation – Caltrans). O objetivo deste programa piloto foi propor, desenvolver e avaliar o desempenho de dispositivos não patenteados que pudessem reter grandes sólidos grosseiros ao longo de rodovias. Este termo sólido grosseiro compreende partículas diversas de tamanho relativamente grande e vegetação. Ainda que a Caltrans tenha desenvolvido os dispositivos de retenção de sólidos especificamente para margens de rodovias, eles podem também ser úteis para remoção de sólidos em riachos de zonas periféricas de cidades. De forma resumida, trata-se de estruturas acopladas a galerias e tubulações (Figuras 09 e 10) que forma uma malha de retenção permitindo a passagem de grande volume de água, retendo e armazenando os resíduos sólidos através da malha, para uma posterior limpeza manual. (RIGHETTO, 2009)

Figura 09 – Limpeza manual do dispositivo GRSD.



Fonte: <https://roscoemoss.com/products/gross-solids-removal-device/>

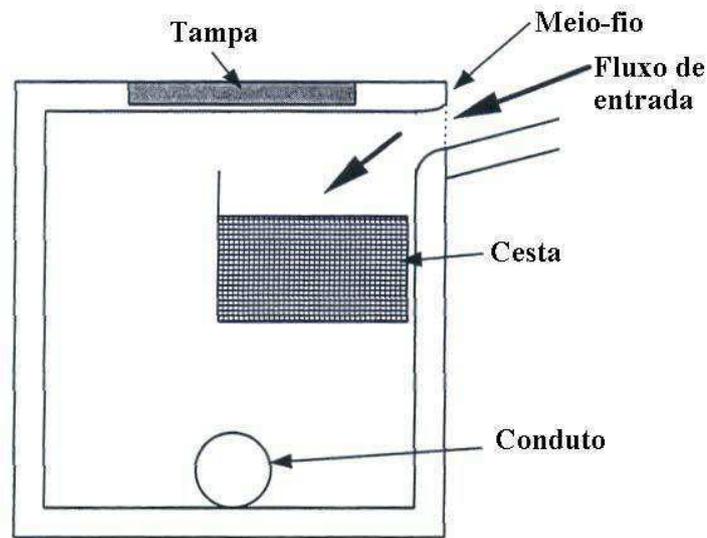
Figura 10 – Estação de retenção de resíduos sólidos através dos dispositivos GRSD na Califórnia.



Fonte: <https://roscoemoss.com/products/gross-solids-removal-device/>

3.5.5. SEPT - Side-Entry Pit Trap

Outra estrutura, que não é do tipo autolimpante, mas que pode ser útil no processo de monitoramento e gerenciamento integrado de resíduos sólidos na drenagem urbana é a chamada SEPT (*Side-Entry Pit Trap*), utilizada em Melbourne na Austrália e ilustrada na Figura 11. Segundo ALLISON et al. (1998), estas estruturas são cestas acopladas à entrada de bocas-de-lobo. A água pluvial passa através da cesta e o material maior que o tamanho da malha (5-20 mm) é retido. O material permanece na cesta até a equipe de manutenção remover o material manualmente ou usando um sugador de grande diâmetro. Planeja-se a limpeza das cestas a cada 4 ou 6 semanas.

Figura 11 - Estrutura SEPT

Fonte: adaptado de ARMITAGE et al., 1998

As armadilhas são colocadas na parte de trás do poço para proporcionar uma trajetória para altos fluxos. Nestes casos, os poros são bloqueados; a água é descarregada sobre a parte traseira da cesta e os materiais mais finos que o tamanho dos poros podem ser retidos também. Uma vez bloqueados os poros, a água se acomoda na cesta e verte sobre a parte posterior da cesta. Neste caso, a eficiência diminui significativamente. Como vantagens, poderiam ser citados (ARMITAGE et al., 1998):

- Rápido e fácil de limpar;
- A coleta é facilmente integrada no programa de manutenção das captações de água pluvial;
- Evita a transferência de resíduos no meio-fio para os condutos;
- Pode-se remover facilmente a cesta para manutenção;
- Pode ser útil na identificação das principais fontes como parte de um programa de gerenciamento da bacia.

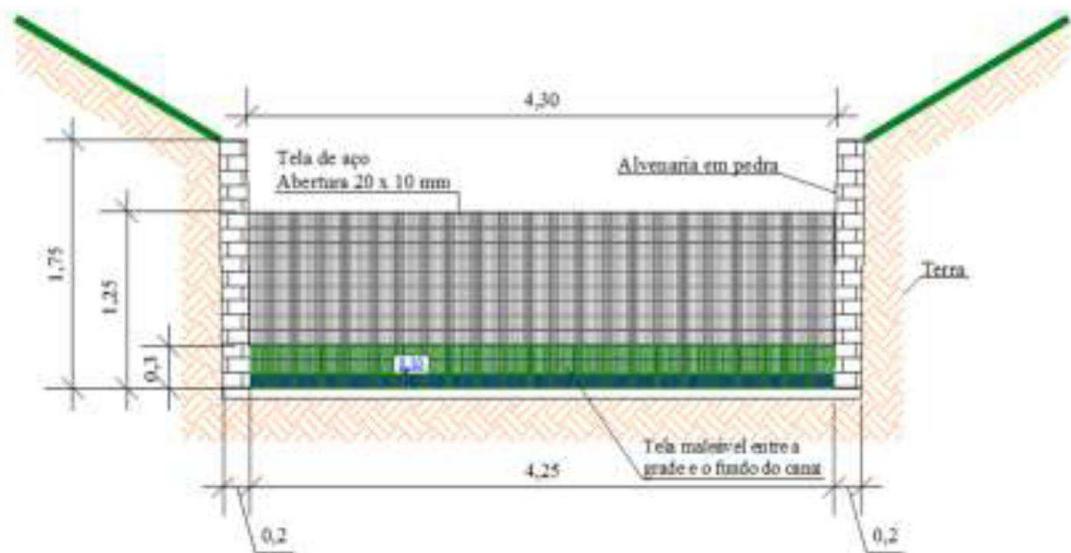
As desvantagens são (ARMITAGE et al., 1998):

- Necessidade de aquisição de um aspirador especial de alto custo;
- As tampas das captações são pesadas e precisam ser removidas com uma sustentação segura;
- Um grande número de unidades são requeridas nas áreas propensas.

3.5.6. Gradeamento

O sistema de Gradeamento consiste em telas de aço instaladas transversalmente ao eixo do canal com abertura da malha estrategicamente escolhida para não interferir no fluxo do volume escoado, retendo apenas os resíduos que por ali passaria. A figura 12 ilustra o esquema de utilização.

Figura 12 – Esquema de Gradeamento tem canais de drenagem



Fonte: Gava, 2012

Este método também é utilizado em estações de tratamento de esgoto. Em sua fase inicial de tratamento, o esgoto chega à estação em sua forma bruta, contendo diversos resíduos junto ao volume. A primeira etapa então é o gradeamento, esse que pode ser feito através de um sistema de malhas rotativas e automatizadas, ou apenas uma tela no canal de passagem. Apesar de pouco utilizado em canais, esse sistema entrega uma ótima eficiência a um baixo custo de instalação. As Figuras 13 e 14 ilustram casos de utilização.

Figura 13 – Exemplo de um sistema de gradeamento em canal



Fonte: Gava,2012

Figura 14 - Exemplo de gradeamento com cesto coletor em canal



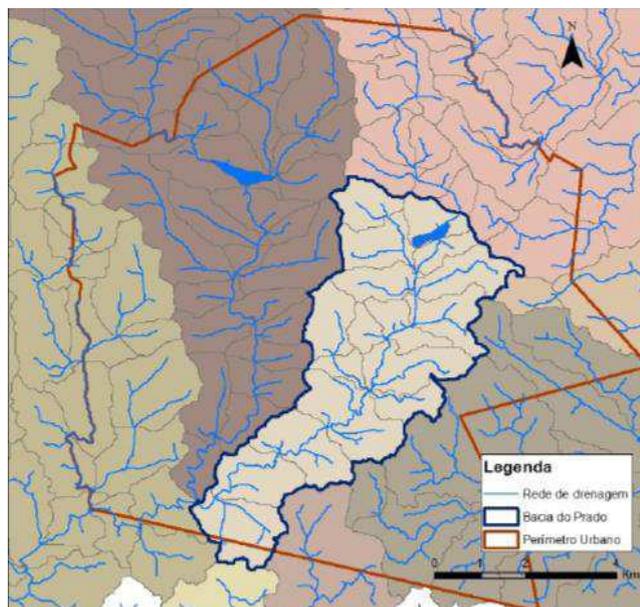
Fonte: BAPTISTA, sd

Ambiente (SESUMA), juntamente com empresas terceirizadas que fazem parte da coleta e destinação ao aterro sanitário que se encontra no distrito de Catolé de Boa Vista. O serviço de abastecimento de água e coleta de esgoto é de responsabilidade da CAGEPA. A implantação dos canais de drenagem de águas pluviais (drenagem urbana) é efetuada através da Secretaria de Obras e a manutenção e limpeza é feita por esta secretaria em parceria com a SESUMA.

4.1.1. A Bacia Urbana do Prado

O sistema de macrodrenagem de Campina Grande abrange 3 importantes bacias urbanas: riacho das Piabas, riacho de Bobocongó e riacho do Prado (Figura 16), e dele fazem parte canais trapezoidais e retangulares, em sua maioria abertos. Com relação a microdrenagem, quando existe, este sistema é composto por bocas de lobo, poços de visita, galerias, tubos de ligações e sarjetas.

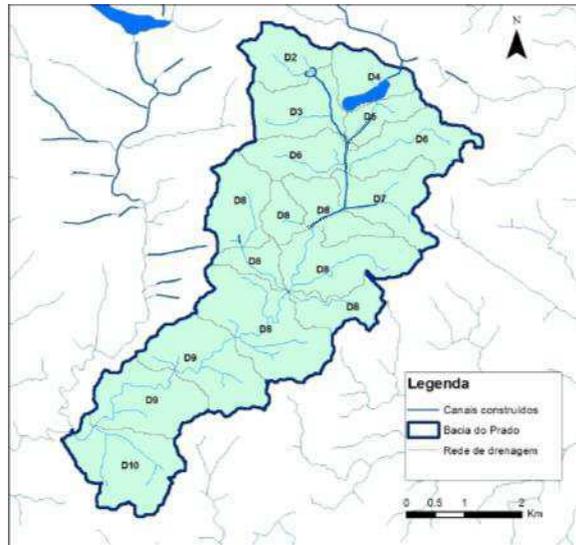
Figura 16– Rede de drenagem da cidade de Campina Grande.



Fonte: Henriques, 2014

A bacia urbana do riacho do Prado (Figura 17) possui uma área de 37,15 km² e um perímetro de 43,78 km, sendo composta por 9 sub-bacias. Esta também compreende de forma parcial e/ou total 22 bairros. (HENRIQUES, 2014)

Figura 17 – Bacia Urbana do Canal do Prado e suas Sub-bacias

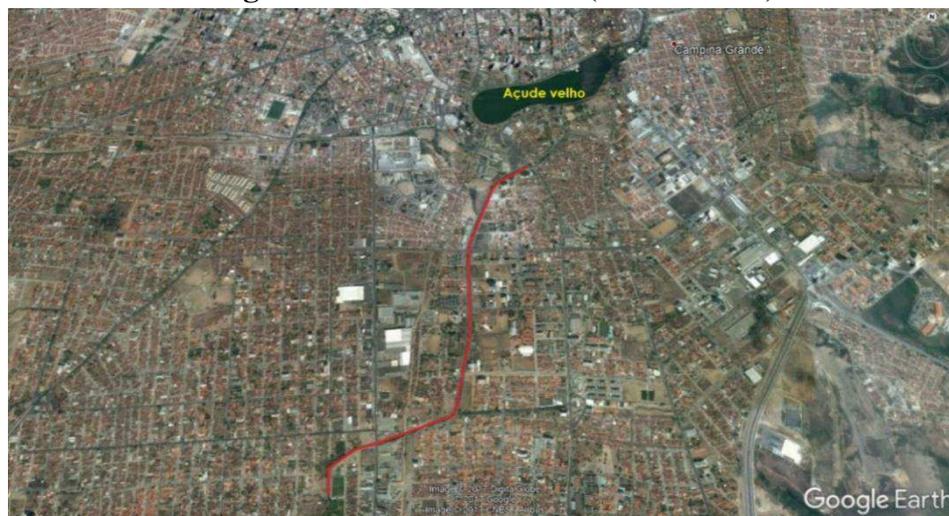


Fonte: Adaptado de Henriques, 2014

4.2. O Canal do Prado

O objeto de estudo foi o Canal do Prado (Figura 18), principal componente da bacia de mesmo nome, que tem um comprimento total de 2,25 km e tem seu início no extravasor das águas excedentes do Açude Velho ($7^{\circ} 13' 35,8''$ Sul e $35^{\circ} 52' 47,7''$ Oeste), e término no bairro Jardim Paulistano, nas Coordenadas de $7^{\circ} 14' 47,6''$ Sul e $35^{\circ} 53' 22,1''$ Oeste. Após este ponto, o canal deixa de ter seu revestimento, seguindo seu percurso até desaguar no Riacho Bodocongó, o qual é afluente do Rio Paraíba, principal rio do estado.

Figura 18 – Canal do Prado (em vermelho)

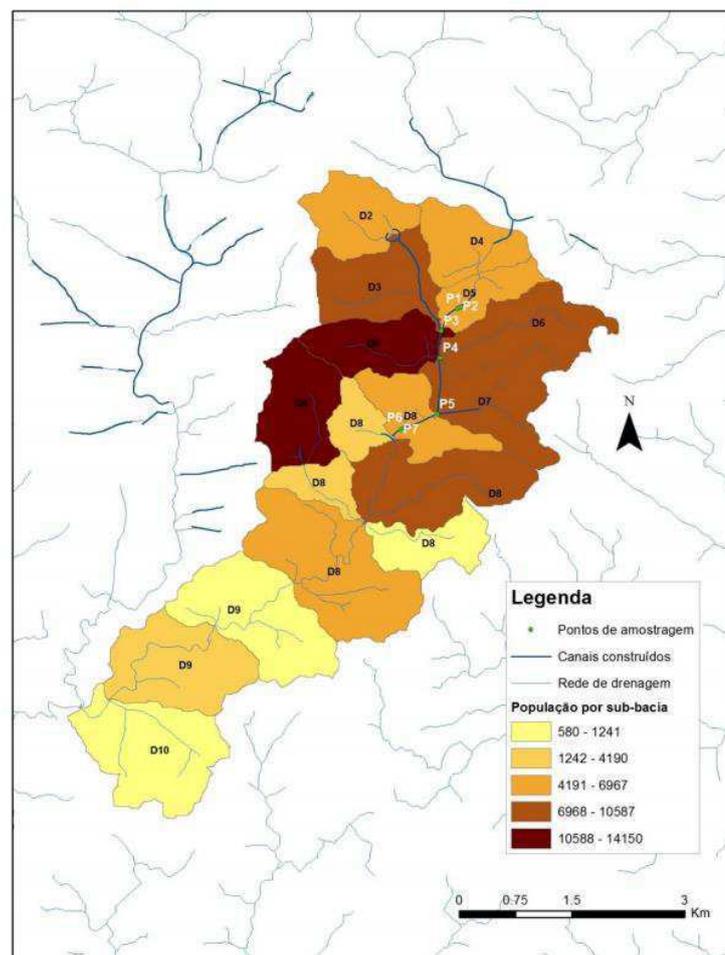


Fonte: Google Earth, 2017

O canal do Prado situa-se no bairro do Catolé, antigo bairro do Prado o qual mantém o nome do canal até hoje. O referido bairro localiza-se na zona sul de Campina Grande, e segundo o IBGE, no censo de 2010 o bairro contava com 20.223 habitantes, sendo um dos bairros mais habitados da cidade, acentuado pelo crescimento urbano e a verticalização dos últimos anos.

Observa-se na Figura 19 que a bacia Urbana do Prado se situa entre os bairros de maior concentração populacional, conseqüentemente estando presente em uma localização de maior geração e descarte de resíduos sólidos urbanos. Este fato leva a uma maior tendência da presença de RSU no interior do canal, promovidos pelo descarte irregular das residências da região. Além disso o canal recebe águas e resíduos advindos de galerias dos bairros da Prata e Centro, cortando uma zona de subúrbio da cidade, sendo este, um dos maiores responsáveis pela carga poluidora.

Figura 19 – Distribuição Populacional(hab.) na Bacia Urbana do Prado



Fonte: Henriques, 2014

4.2.1. Diagnóstico da Atual Situação do Canal do Prado

De acordo com a Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente de Campina Grande (SESUMA), a limpeza do canal do Prado é realizada diariamente por uma equipe de trabalhadores recrutados exclusivamente para os serviços daquele local. A equipe permanece durante todo o expediente de trabalho efetuando uma limpeza manual interna e externamente ao canal (Figuras 20) a fim de evitar o acúmulo de resíduos sólidos e o surgimento de problemas com o equipamento de drenagem. Os resíduos coletados do canal chegam até este através dos moradores da região que costumam jogá-los no canal quando passam por ele.

De segunda a sábado, no horário da manhã, uma equipe entra no canal com o mínimo de equipamentos de proteção possíveis, retirando de forma grosseira os resíduos presentes naquele momento, e os colocam em sacolas de lixo deixadas na margem da avenida, para posteriormente, serem coletadas pelo caminhão da prefeitura e encaminhadas para o aterro sanitário. Essa limpeza portanto, confere aos trabalhadores envolvidos, condições de trabalho insalubres. A limpeza feita é ineficiente visto que os resíduos são jogados constantemente e a coleta feita apenas uma vez por dia, sendo retirado de forma superficial o que se encontra naquele momento. O canal também recebe águas residuais contaminadas, oriundas de esgotos que chegam das casas dentro da bacia de contribuição para o canal por meio de galerias.

Figuras 20 – Atual situação de limpeza do canal do Prado.



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Um volume considerável desses resíduos não é coletado através da limpeza manual, e dessa forma chegam aos corpos hídricos, que recebem uma grande carga poluidora, sofrendo impactos ambientais. Apesar de bastante oneroso, demandar bastante mão de obra e ser visivelmente ineficiente, segundo a SESUMA (2017), essa foi a única alternativa que conseguiram encontrar para amenizar a problemática dos resíduos sólidos no canal do Prado.

Apesar de ter sido projetado apenas para receber água proveniente da drenagem dos pavimentos da cidade, atualmente o canal recebe, além dos resíduos sólidos, uma alta carga de esgoto, o que compromete a funcionalidade do sistema e acarreta uma carga de resíduos sólidos lançados na natureza. Atualmente o canal não conta com nenhum tipo de dispositivo de retenção de resíduos sólidos.

Recentemente o canal do Prado foi alvo de matérias nos jornais, com reclamações por parte da população sobre a presença exagerada de resíduos sólidos e a ausência de coleta em determinados pontos (Figura 21), causando a proliferação de vetores e a dissipação de doenças em bairros mais pobres os quais são cortados pelo canal.

Figura 21 – Lixo presente em uma das galerias que descarrega no Canal do Prado.



Fonte: Jornal da Paraíba, 2015

Por possuir muitos trechos com galerias abertas ao ar livre que descarregam no canal do Prado, as quantidades de resíduos lançados são ainda maiores. É possível encontrar os mais diversos rejeitos ali lançados, como pneus, colchão, materiais de construção, galhos de árvores, sofá, peças de automóveis, caixas de papelão, entre outros, rejeitos esses que possuem grandes dimensões, contribuindo para o mal funcionamento do canal e sendo difíceis de se retirar, como são mostradas nas Figuras 22.

Figuras 22 – Resíduos sólidos - canal do Prado



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

4.3. Coleta e Processamento de Dados

Para se definir qual o melhor sistema de retenção de resíduos a ser moldado no canal, se fez necessário o conhecimento de dados técnicos, bem como a composição geral dos resíduos sólidos ali presentes, esses dados são úteis para compreender melhor a capacidade do canal e o comportamento desses rejeitos lançados.

4.3.1. Determinação das Dimensões

Para o conhecimento das dimensões do canal, foi realizada uma medição *in loco* de diversos pontos usando-se uma trena métrica (Figuras 23 e 24). Vários Pontos foram medidos para se fazer uma média e atingir um valor mais próximo do real possível. Os pontos registrados foram anotados e utilizados para determinar as dimensões da seção média do canal.

Figura 23 – Trena de medição



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Figura 24 – Medição das dimensões do canal Do Prado



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

4.3.2. Determinação da Inclinação do Canal

A inclinação do canal juto a outros fatores, são determinantes para se calcular a velocidade de escoamento, refletindo diretamente no comportamento dos resíduos sólidos presentes. Para se conhecer a inclinação, a maneira mais acessível encontrada foi procurar o projeto de construção do canal do prado, um documento da Secretaria de Planejamento e Urbanismo de 1981 guardado pela Biblioteca Municipal de Campina Grande - PB.

4.3.3 Determinação da Velocidade de Escoamento Média

A velocidade de escoamento de fluidos em canais, influi diretamente no comportamento dos resíduos sólidos presentes, principalmente os resíduos flutuantes. Dessa forma também se fez necessário a sua determinação. Existem diversas maneiras de se determinar a velocidade de escoamento: por cálculos ou por medições. Foi escolhida a forma de medição *in loco*, e o método realizado foi a medição indireta. Este método foi escolhido pelo fato da lâmina de

escoamento no canal ser baixa, uma média de 4 cm nos diversos pontos medidos. Desta maneira, se tornaria inviável utilizar equipamentos de medição como o molinete. O método de medição indireta consiste em fixar uma distância conhecida, e medir através de um cronômetro o tempo que um objeto flutuante leva para percorrer a distância (Figura 25). Conhecidas então a distância e o tempo, é possível determinar a velocidade, esta que por sua vez é determinada de forma momentânea e individual. Por meio da Equação 01 é possível se determinar a velocidade:

$$V = \frac{D}{T}$$

Equação 01 – Determinação da velocidade de escoamento

Onde V é a Velocidade a ser determinada (m/s), D a distância fixada (10 m) e T o tempo em segundos decorridos para o objeto flutuante percorrer a distância.

Figura 25 – Determinação da Velocidade de Escoamento por Meio Do Método Indireto.



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

4.3.4. Quantificação e Caracterização dos Resíduos Sólidos no Canal

Para se analisar que tipo de material é descartado dentro do canal, foi feita uma coleta no período de 15 dias entre os meses de dezembro de 2017 e janeiro de 2018, datas escolhidas intencionalmente por influenciarem no aumento do consumo e descarte de resíduos sólidos

urbanos. O material foi retirado manualmente pelos próprios trabalhadores do local e levados como de maneira rotineira para o aterro sanitário. Nesse período, o material passou por secagem e foi pesado para se determinar a sua composição.

A caracterização adotada para os RSU foi uma adaptação da proposta por Armitage e Rooseboom (2000), e seguiu os seguintes critérios:

- Plástico: sacolas, embalagens, recipientes, garrafas, papel de salgadinho, etc.
- Papel: embalagens, jornais, folhetos, embalagens de comida e bebida, papelão, embalagens Tetra Pak, etc.
- Metal: latas, garrafas, tampas de metal, etc.
- Vidro: garrafas, pedaços quebrados, lâmpadas, etc.
- Outros: roupas velhas, sapatos, panos, tocos de cigarros, isopor.

4.4. Escolha do Tipo de Sistema

Atualmente existem vários sistemas de retenção de resíduos sólidos para canais de drenagem, alguns patenteados e outros não patenteados que, segundo a literatura, são bastante eficientes. Por sua vez, esses sistemas devem ser levados em consideração na hora de se elaborar um projeto, tendo em vista que há necessidade de um correto dimensionamento entre esses dispositivos e o canal. Apesar de pouco conhecido e utilizado no Brasil, esses dispositivos são relativamente simples de serem construídos e apresentam baixo custo comparado à construção de um canal, que por muitas vezes tem sua funcionalidade comprometida devido a presença dos resíduos sólidos.

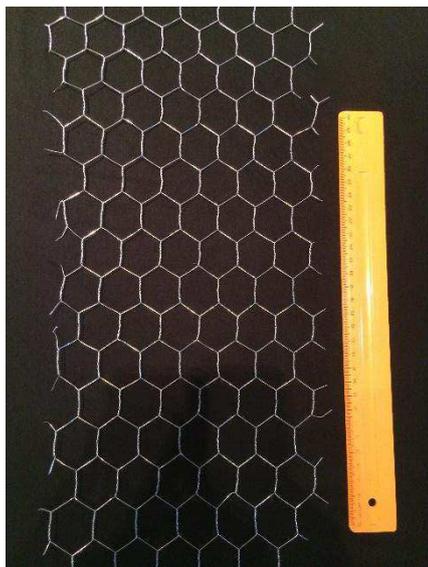
Por se tratar de um canal já construído, existe a limitação de espaço. O canal se encontra às margens da Avenida Consul Joseph Noujuain Habib Nacad, e desta forma qualquer método de retenção de resíduos que necessite interferir na forma ou dimensão do canal será comprometida, devendo portanto, este se adaptar ao canal. Dentre os métodos já apresentados, o mais aceitável seria a utilização do sistema de gradeamento, visto a sua facilidade de instalação, a sua eficiência e a não necessidade de ter que interferir na forma e dimensões do canal. Faz-se, portanto, a necessidade da verificação do comportamento dos resíduos sólidos frente a esse tipo de sistema.

4.5. Eficiência do Sistema de Gradeamento

Para analisar o comportamento dos resíduos sólidos em diferentes vazões, foi necessário fazer uma simulação em laboratório para se ter uma ideia de como os resíduos sólidos se portam diante das situações enfrentadas pelo canal.

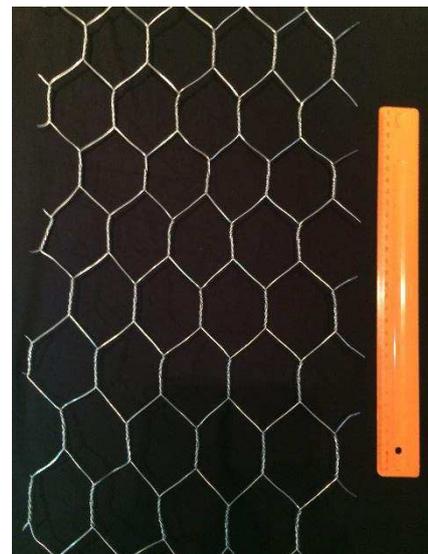
A primeira etapa dos testes consistiu na escolha das malhas a serem utilizadas. Esse critério levou em consideração as dimensões dos principais resíduos sólidos flutuantes retirados nas amostras. Esses resíduos são os que tem como propriedades, o fácil transporte pelo fluxo de água em um canal, portanto se tornam alvo de retenção pelo sistema de gradeamento. Se fez necessário então, a escolha de malhas que fossem capazes de reter copos descartáveis, garrafas pets, sacos de lixo e embalagens de alimentos, resíduos flutuantes predominantes no canal do Prado, de forma que interferisse minimamente possível no escoamento, mesmo em momentos críticos de vazão. A partir das dimensões desse material, foram escolhidas malhas com abertura de 2,5 cm, 5 cm e 7,5 cm, mostradas nas figuras 26, 27 e 28 respectivamente. Nesta fase foi importante verificar qual malha teria uma melhor eficiência de retenção sem impactar de forma negativa no escoamento do canal.

Figura 26 - Malha de abertura 2,5 cm



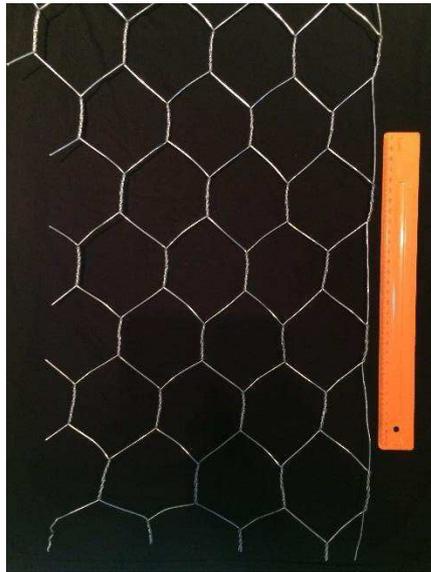
Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Figura 27 – Malha de abertura 5 cm



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Figura 28 – Malha de abertura 7,5 cm



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Para se analisar qual das malhas se comportaria melhor com relação a retenção de resíduos despejados no canal, foi utilizado o canal artificial de recirculação do laboratório de hidráulica do Campus da Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande. O referido equipamento da marca japonesa ISEYA, modelo “Tilting Channel III – 406S11” fabricado em 1989, simula o comportamento de um trecho de rio ou canal natural ou artificial (Figura 29).

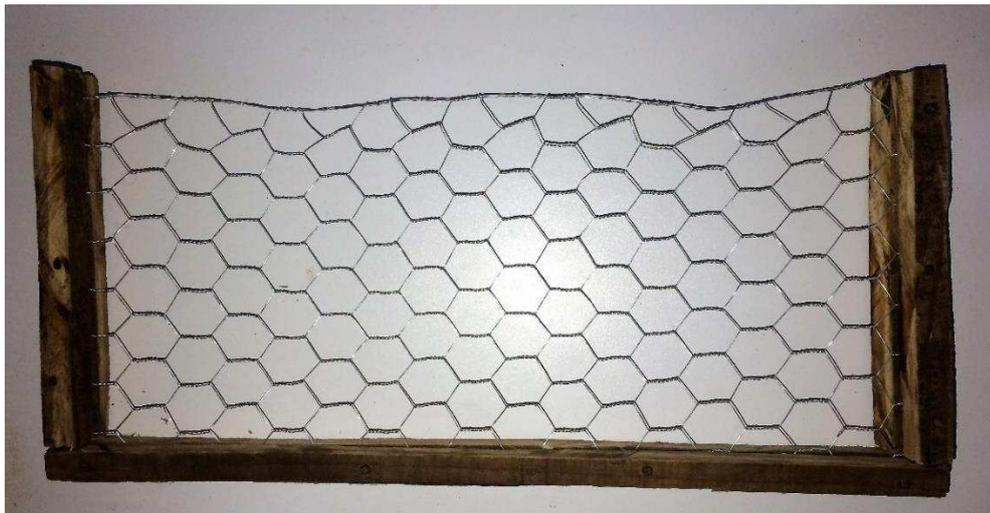
Figura 29 – Canal de recirculação do laboratório de hidráulica da UFCG



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Para a utilização das malhas no canal, fez-se necessário a implantação de uma estrutura de suporte (Figura 30) para que pudessem ser fixadas nas paredes do simulador, representando assim, a estrutura a ser analisada em uma escala menor. A escolha desse suporte foi feita levando-se em conta a dimensão do canal e a espessura das bordas, buscando fixar a malha de forma segura, interferindo minimamente no escoamento.

Figura 30 – Suporte das Malhas Para Fixação No Canal

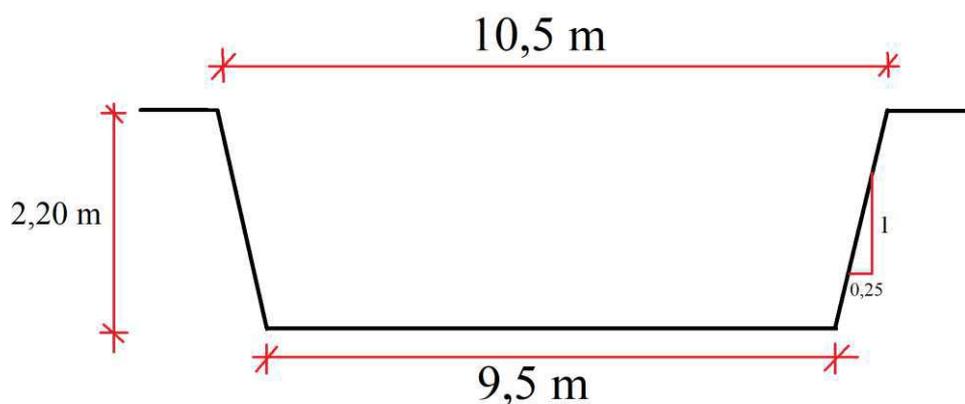


Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições realizadas, trouxeram divergências entre os pontos analisados, porém se mantiveram próximos, apenas com uma divergência maior nas medidas das profundidades. Tirando uma média dos valores conferidos, pôde-se chegar à uma seção trapezoidal com as dimensões ilustradas na Figura 31:

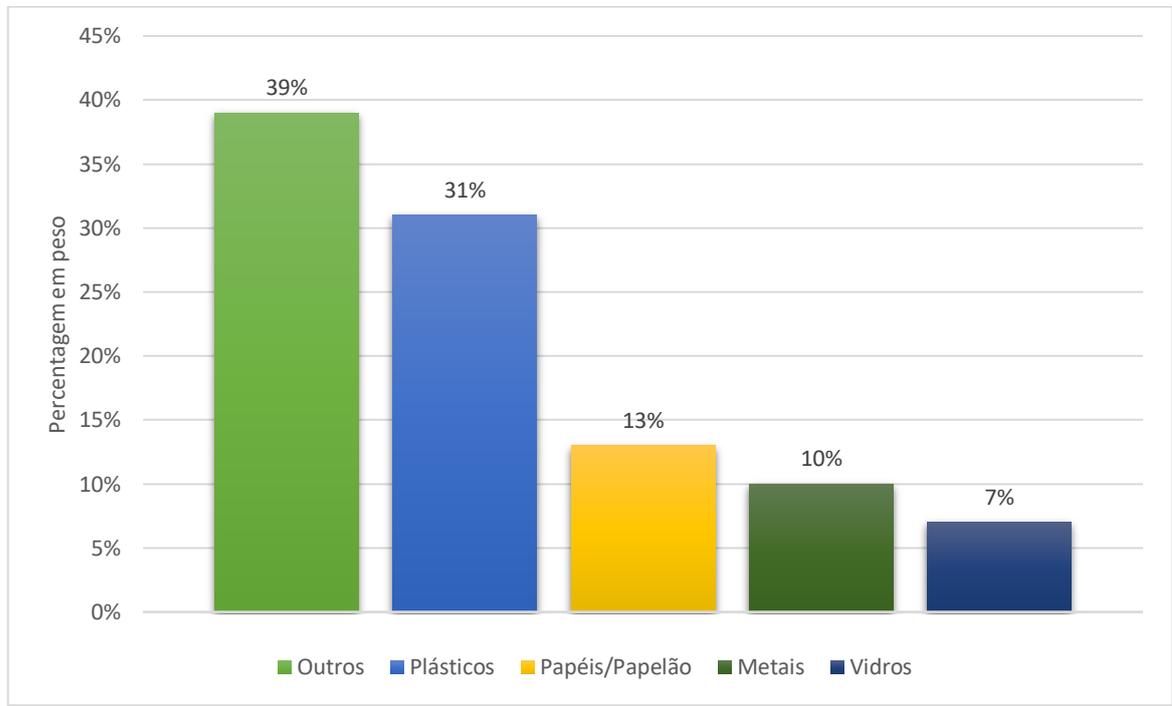
Figura 31 – Esboço da Seção do Canal com a Média dos Valores Medidos



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

5.1. Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos no Canal do Prado

Os dados obtidos e registrados são referentes à coleta realizada no local, no período compreendido entre 16 a 23 de dezembro de 2017 e 06 a 13 de janeiro de 2018. O material caracterizado como flutuante e que corresponde à parcela de 31% do total coletado é composto principalmente por garrafas pet, sacolas plásticas, embalagens de alimentos, copos descartáveis, tampas plásticas e recipientes plásticos. A parcela correspondente à “Outros” e que também é composto por alguns materiais flutuantes envolve os mais diversos produtos, entre eles: Pneus, colchão, capacete, embalagens de isopor, roupas, galhos de árvores, pedaços de madeiras, peças de automóveis, e materiais de construção. Não foi considerado no levantamento a matéria orgânica presente no canal devido ao fato de haver inviabilidade de separação com outros materiais. A média registrada nesse período foi de 48 Kg/dia, e a composição em peso registrada se encontra na Figura 32.

Figura 32 – Composição Gravimétrica de RSU no Canal

Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

É importante ressaltar que essa média do volume retirado corresponde à coleta momentânea ao longo do canal, visto que atualmente não existe nenhum sistema de retenção de resíduos sólidos, inviabilizando a determinação correta do volume total diário dos resíduos sólidos ali lançados. Ou seja, foram coletados apenas os resíduos que se encontravam naquele momento dentro do canal, apesar do mesmo receber resíduos constantemente ao longo do dia

5.2. Velocidade Média de Escoamento

Para o cálculo da velocidade, foi escolhido um dia em que não houve precipitações recentes, para que desta forma, as informações medidas fosse o mais fiel possível à realidade do canal na maior parte do ano, calculando a velocidade de escoamento em sua maior parte do tempo. Também foram escolhidos 6 pontos, e realizados uma média dos valores, aumentando a representatividade da informação:

Distância Fixada medida com a trena: 10 metros

Tempo médio que o objeto demorou para percorrer: 16,96 segundos

O objeto flutuante consistiu em um disco de isopor

De acordo com a Equação 01, tem-se que:

$$V = \frac{D}{T}$$

logo temos que a velocidade média de escoamento no canal foi de **0,59 m/s**.

5.3. Parâmetro de Semelhança

Por se tratar de um canal de laboratório foi necessário considerar alguns parâmetros hidráulicos para que os resultados nele obtidos possam ser transferidos para o canal real. De posse dos dados técnicos do canal do prado, o canal de simulação foi ajustado tecnicamente para simular de forma representativa o escoamento real. Inicialmente foi regulado para que a declividade atingisse a inclinação de 0,85%, representando a mesma do trecho de maior inclinação do canal do Prado, simulando assim uma condição mais desfavorável de escoamento.

Em sequência a isso, foi definido o parâmetro do raio hidráulico no canal do prado para encontrar os valores que definem um mesmo raio hidráulico no canal de simulação:

- **Canal Do Prado:**

Como de conhecimento, o raio hidráulico é definido como:

$$Rh = \frac{A}{P}$$

Equação 02 – Determinação do raio hidráulico

Onde Rh é o raio hidráulico, A é a área molhada e P o perímetro molhado. De posse desses dados, tem - se:

A= 0,38 m² e P=9,58 m, logo o raio hidráulico canal do prado referente à lâmina média de 4 cm do é de 0,04m

- **Canal de simulação:**

Para a realização dos testes, se fez necessário definir uma altura da lâmina de escoamento compatível com o mesmo raio hidráulico do canal do prado.

$$Rh = 0,04;$$

$$A = 0,5 * X$$

$$P = 2 * X + 0,5$$

Em que 0,5 é a medida em metros da base do canal de simulação e X a altura da lâmina de escoamento;

O raio hidráulico é definido como, $Rh = \frac{A}{P}$

Logo,

$$0,04 = \frac{0,5 * X}{2 * X + 0,5} \rightarrow X = 0,05 \text{m ou } 5 \text{ cm}$$

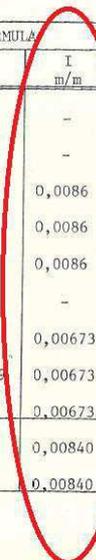
Desta forma, utilizou-se uma medida inicial de 5 cm na altura da lâmina de escoamento no canal de simulação, representando o mesmo comportamento do canal do prado. Os resíduos sólidos utilizados no experimento se compuseram de sacolas plásticas, garrafas PET, canudos, tampas de garrafas, copos descartáveis e bandejas de isopor, compondo a maior parte dos resíduos flutuantes encontrados nas amostras de resíduos sólidos do canal do Prado.

5.3.1. Inclinação do Canal.

A partir do Projeto Original do Canal do Prado (1981) mostrado na Figura 33, foi possível obter as inclinações de seus respectivos trechos:

Figura 33 – Imagem de uma lauda do Projeto Original do Canal do Prado Contendo as Inclinações Calculadas

REFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINA GRANDE-PB
 OBRA: CANAL DO PRADO
 PLANILHA PARA O EMPREGO DA FÓRMULA DE CHEZY NO CÁLCULO DE CANAIS

$$Q = \frac{RH^{1/6}}{n} S \sqrt{RH I} \quad e \quad C = \frac{(RH)^{1/6}}{n}$$


TRECHO	EST. A EST.	ALTERNATIVAS	ELEMENTOS DA FÓRMULA												
			h (m)	b (m)	S (m ²)	P (m)	RH (m)	RH ^{1/6} (m)	√RH	I m/m	√I	1/n	Q L/S	V M/S	
II - III	47 a 50+2	existente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50+2 a 58+8	existente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	58+8 a 67	1. ^a	1,50	6,20	9,00	9,20	0,97826	0,9963	0,9890	0,0086	0,09273	40,00	32,89	3,65	
	58+8 a 67	2. ^a	1,50	6,50	9,75	9,50	1,0263	1,004	1,001	0,0086	0,09273	40,00	36,34	3,72	
	58+8 a 67	3. ^a	1,50	6,70	10,05	9,70	1,036	1,0059	1,0029	0,0086	0,09273	40,00	38,00	3,78	
	67 a 75+10	existente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	75+10 a 83	1. ^a	1,50	6,90	10,35	9,90	1,0454	1,007	1,022	0,00673	0,082	40,00	34,93	3,37	
	75+10 a 83	2. ^a	1,50	7,00	10,50	10,00	1,05	1,008	1,02469	0,00673	0,082	40,00	35,57	3,29	
	75+10 a 83	3. ^a	1,50	7,50	11,25	10,50	1,07	1,011	1,0344	0,00673	0,082	40,00	38,58	3,42	
II - IV	83 a 106	1. ^a	1,75	9,00	15,75	12,50	1,26	1,039	1,122	0,00840	0,0916	40,00	67,20	4,26	
	83 a 106	2. ^a	1,75	8,50	14,875	12,00	1,23958	1,036	1,113	0,00840	0,0916	40,00	62,84	4,26	

Fonte: Prefeitura Municipal de Campina Grande, 1981

Como é possível observar, a inclinação ao longo do comprimento do canal não é constante, variando de acordo com cada trecho determinado em projeto, tendo uma inclinação mínima de 0,00673 m/m ou 0,673% e uma inclinação máxima de 0,0086 m/m ou 0,86%.

5.4. Análise das Malhas

5.4.1. Malha de Abertura 2,5 cm

Inicialmente a malha de abertura 2,5 cm foi fixada no suporte e instalada no canal de simulação (Figura 34).

Figura 34 – Instalação e fixação da malha 2.5 cm no canal de simulação



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Para a verificação do comportamento do escoamento e dos resíduos flutuantes, inicialmente o equipamento foi ligado de forma que a lâmina d'água atingisse a altura de 5 cm, com inclinação do canal em 0,85%, e verificou-se o comportamento. (Figura 35).

Figura 35. Comportamento dos resíduos na malha 2,5 cm, com 5 cm de altura da lâmina



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Observou-se que com a altura de 5 cm da lâmina de escoamento, os resíduos menores foram transportados lentamente até se interceptarem com o sistema de gradeamento. Resíduos maiores como sacolas e garrafas sofreram pouco movimento, se concentrando nas bordas. A malha com abertura de 2,5 cm conseguiu reter até mesmo os menores resíduos como tampa de garrafas e canudos. Porém, quando a vazão foi aumentada, a malha foi facilmente obstruída, elevando o nível de água a montante até o extravasamento do sistema. O experimento foi realizado qualitativamente considerando uma condição extremamente desfavorável, com uma elevada vazão no canal até o extravasamento do sistema e na presença de uma elevada quantidade de resíduos sólidos, situação pouco comum de se acontecer.

5.4.2. Malha de Abertura Cinco cm

Assim como a malha 2,5 cm, a de abertura 5,0 cm também foi fixada no suporte e instalada no canal de simulação (Figuras 36 e 37). A inclinação se manteve em 0,85% e a altura lâmina d'água inicial de 5 cm. O equipamento então foi ligado para se observar o comportamento do sistema.

Figura 36 – Instalação e Fixação da Malha de Abertura 5.0 cm no Canal e Simulação



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

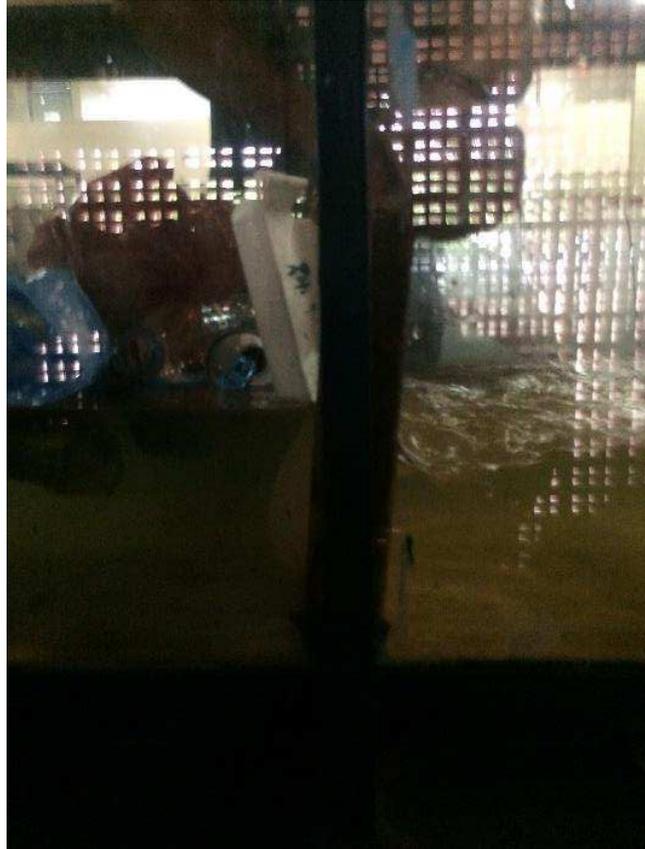
Figura 37 – Comportamento dos Resíduos na Malha 5.0, com Lâmina de 5,0 cm



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

A vazão então foi aumentada para análise do comportamento, até o extravasamento do sistema, bem como a carga de resíduos lançados, atingindo a situação desfavorável do sistema. Pôde-se observar que a maior parte dos resíduos foram retidos pelo gradeamento, com exceção dos de menores dimensões como as tampas de garrafas e canudos. De forma positiva, a malha com abertura 5,0 cm teve um comportamento melhor do que a de 2,5 cm, visto que interferiu minimamente no escoamento (Figura 38), retendo os resíduos na superfície e permitindo a passagem da água por baixo deles, sendo também mais difícil de ser obstruída por completo. No caso de uma vazão elevada a ponto de aumentar a lâmina de escoamento acima da altura da malha, os resíduos que mantiveram na superfície transbordaram por cima da grade, permitindo a passagem da água sem nenhum obstáculo, consolidando a eficiência do tipo de sistema.

Figura 38 – Comportamento do Sistema com a vazão elevada



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Em outras palavras, é possível observar que essa abertura de malha possibilitou um escoamento minimamente afetado, retendo ainda assim os resíduos colocados em teste. Mesmo com o aumento da vazão a ponto de causar transbordo por cima da malha, a altura escolhida permitiu a passagem do fluxo sem interrompê-lo. Com isso é possível afirmar que na prática, caso ocorra a interferência desse sistema de gradeamento no escoamento do canal do prado, em situações de picos de vazão, ao atingirem um volume que cause uma altura de lâmina maior do que a altura da malha instalada, esse sistema transbordaria não bloqueando assim a seção do canal.

5.4.3. Malha de Abertura 7.5 cm

Assim como as duas malhas anteriores, a malha com a abertura maior foi fixada no canal através do suporte e instalada no canal de simulação (Figura 39) para observar o comportamento dos resíduos e do escoamento pela malha.

O equipamento então foi ligado com a configuração inicial padrão de altura da lâmina de 5,0 cm e inclinação de 0,85%. Em seu escoamento inicial a malha se comportou de maneira similar à de 5,0 cm, retendo a maior parte dos resíduos sem interferir no escoamento da água. Porém ao se aumentar a vazão, pôde-se observar que a força da água pressionava os resíduos contra a malha, fazendo com que garrafas e latas pudessem passar através do gradeamento, comprometendo portanto a eficiência do sistema, como é possível observar nas Figuras 40.

Figura 39 – Instalação e Fixação da Malha de Abertura 7,5 cm no Canal de Simulação



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Observou-se ainda que as sacolas plásticas pasavam parcialmente carregadas pelo fluxo da água (Figura 40) ao invés de se manterem na superfície como ocorreu na malha 5.0 cm, o que promoveu uma dificuldade no escoamento e aumento do nível de água a montante.

Figuras 40 – Comportamento dos Resíduos na Malha 7.5 cm Com Aumento na Vazão.



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

5.5. Escolha do Sistema e Definição dos Pontos de Utilização

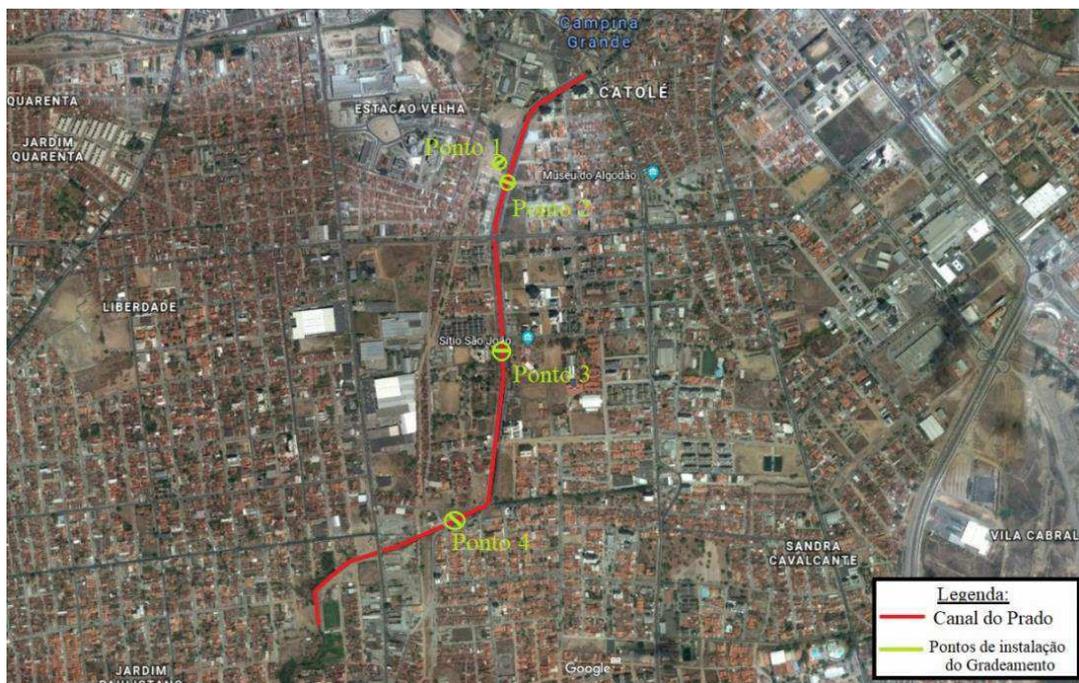
Após realizados os testes em laboratório, foi possível avaliar resultados positivos no que diz respeito à retenção dos resíduos sólidos através do gradeamento no canal. Todas as malhas testadas, se comportaram de maneira semelhante quando a vazão do canal se manteve com a lâmina de altura em 5 cm, refletindo bem o que ocorre na prática no canal do Prado em sua maior parte do tempo. Quando se aumentou a vazão, foi possível observar que a malha de abertura 5 cm teve um comportamento mais satisfatório em relação às outras malhas, permitindo que a maior parte dos resíduos fossem retidos sem interferir de maneira impactante sobre o escoamento. Dessa maneira, é possível afirmar que a malha de abertura 5.0 cm seria a ideal para a utilização desse sistema no canal do Prado.

Em relação às dimensões do gradeamento a serem utilizadas no canal do Prado, estas devem se adequar às dimensões transversais de cada ponto escolhido, que apesar de serem bem próximos, foi possível constatar uma pequena discrepância entre as medições realizadas. Já a altura do gradeamento foi determinada como sendo 0,5 m. A escolha dessa altura levou como critério a possibilidade de retenção de um volume considerável de resíduos sólidos, mas que no caso de um pico elevado de vazão, seria possível transbordar por cima da grade sem prejudicar o escoamento do volume.

Os pontos de instalações (Figura 41) também foram pensados estrategicamente de forma a otimizar a limpeza e a coleta bem como a acessibilidade por parte do caminhão coletor e os operários responsáveis pela limpeza. Os pontos são de fácil acesso e permitem que o caminhão coletor, possa estacionar sem interromper a avenida, esses pontos então foram analisados e registrados (Figuras 42 a 45).

O ponto 1 está localizado na margem da galeria que descarrega água dentro do canal do Prado, este que por sua vez corta vários bairros do subúrbio do município e é responsável por entregar a maior parte dos resíduos sólidos despejados no canal. Próximo ao ponto 1, e interiormente ao canal do Prado, está situado o ponto 2. Este que por sua vez também está localizado de forma estratégica, retendo não só o montante de resíduos lançados nos 500 primeiros metros do canal, como também algum outro resíduo que por ventura venha a sobrecarregar o ponto 1 e extravasar, visto que este recebe a maior parte, permitindo de maneira acessível, que a equipe de coleta possa realizar as limpezas dos Pontos 1 e 2 simultaneamente. Os Pontos 3 e 4 por sua vez, foram escolhidos pela facilidade de acesso, e pela extensão coletora semelhantes, para que dessa forma, os resíduos não se acumulem em um só ponto, prejudicando o escoamento.

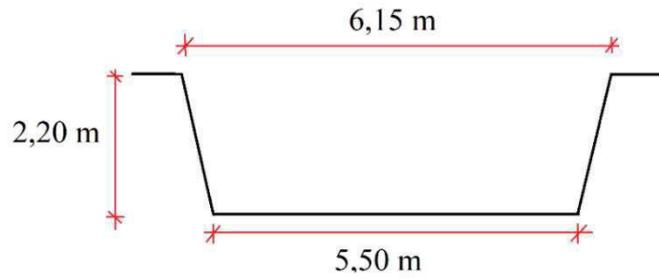
Figura 41 – Imagem de Satélite Apresentando os Pontos de Instalação



Fonte: Modificado – Google Earth, 2018

Figuras 42 – Ponto Estratégico de Instalação 1 e Suas Respectivas Dimensões

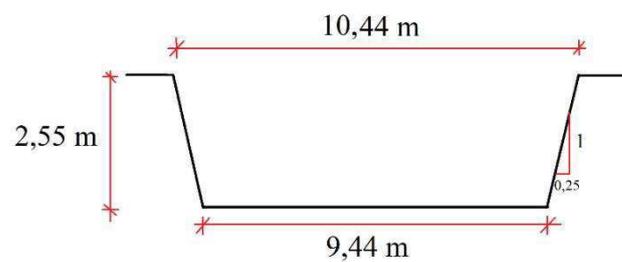
Ponto 1 - 7°13'54"S 35°52'60"O



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Figuras 43 - Ponto Estratégico de Instalação 2 e Suas Respectivas Dimensões

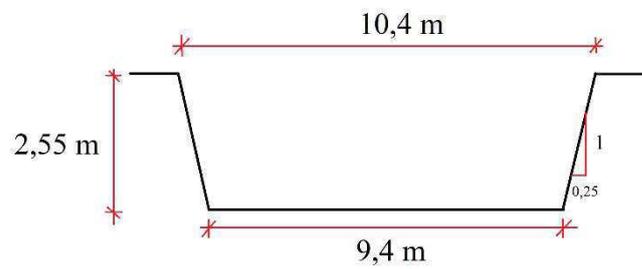
Ponto 2 - 7°14'2"S 35°53'0"O



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Figuras 44 - Ponto Estratégico de Instalação 3 e Suas Respectivas Dimensões

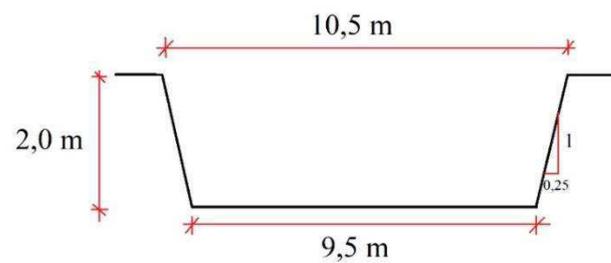
Ponto 3 - 7°14'19"S 35°53'2"O



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

Figuras 45 - Ponto Estratégico de Instalação 4 e Suas Respectivas Dimensões

Ponto 4 - 7°14'39"S 35°53'6"O



Fonte: Andrade, L. B. de, 2017

É fato que os equipamentos de drenagem dos centros urbanos são alvos de descarte de resíduos sólidos por parte da população, e essa realidade não é diferente do que acontece no canal do Prado, um dos principais equipamentos de drenagem do município de Campina grande. Além de carregar um alto volume de resíduos sólidos que chegarão à natureza causando impactos ambientais, o lixo no canal também se acumula próximo às residências, que acabam proliferando vetores e disseminando doenças. Do ponto de vista da engenharia, o canal não foi projetado para receber essa carga de resíduos, o que conseqüentemente compromete o seu funcionamento causando problemas na drenagem. O correto seria a conscientização por parte da população em não descartar o lixo nos canais, mas por questões culturais e habituais, isso não ocorre na prática, então novamente a engenharia intervém, buscando soluções para os problemas de infraestrutura do cotidiano.

6. CONCLUSÕES

O sistema de gradeamento para a retenção de resíduos sólidos ainda é pouco difundido e utilizado no Brasil, mas mostra-se bastante eficiente desde que seja feita a sua limpeza regular. O ensaio de laboratório com um canal de simulação, pôde mostrar que os resíduos flutuantes, que são transportados pelo volume escoado, podem ficar retidos nesse sistema de gradeamento, tendendo a se manter ao longo da superfície. Essa característica conclui que esse sistema tem eficiência favorável em canais com grande extensão de área superficial, evitando que os resíduos se acumulem todos no mesmo ponto da superfície, prejudicando e bloqueando o escoamento do volume, portanto o sistema se enquadra muito bem no canal do Prado. A realidade do canal, mostra que o serviço feito atualmente é ineficiente, como retrata os próprios funcionários da coleta, uma vez que precisam andar diariamente por toda a extensão do canal, coletando o que ali se encontram momentaneamente, e que por muitas vezes ao chegar no final da limpeza, já existe resíduos novamente jogados na extensão que já foi coletada. É importante salientar que a limpeza frequente tem a necessidade de continuar sendo realizada após a implantação do sistema, dessa vez, porém, sendo feita de maneira otimizada, sem a necessidade de percorrer toda a extensão do canal em condições insalubres e sendo realizada de maneira eficiente, visto que a maior parte dos resíduos que são lançados serão interceptados para a próxima coleta, dessa maneira favorecendo a eficiência do trabalho realizado e evitando que poluentes cheguem à natureza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. 2. ed. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2004. VI,71p.
- NEVES, M.G.F.P.das, TUCCI, CALOS E.M, Gerenciamento integrado em drenagem urbana: Quantificação e controle de resíduos sólidos
- ARMITAGE, N., ROOSEBOOM, A., NEL, C. e TOWNSHEND,P. 1998. The removal of urban litter fro stormwater conduits and streams. Water Research Commission. Report No. TT 95/98, Pretoria.
- CORNELIUS, M.; CLAYTON, T.; LEWIS, G. ARNOLD, G. e CRAIG, J. 1994. Litter associated with stormwater discharge in Auckland city New Zealand. Auckland: Island Care New Zealand Trust.
- PEREIRA, S.S; e MELO J.A.B. de, Gestão dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande/PB e seus reflexos socioeconômicos, 2008
- HENRIQUES, JUSCELINO ALVES, Distribuição da contaminação fecal em águas de drenagem afluentes do canal do Prado, Campina Grande – PB, 2014
- Righetto, A.M.; Moreira, L.F.F.; Sales, T.E.A. Manejo de águas pluviais urbanas, 1.ed, Rio de Janeiro, sholna, 2009
- MEDEIROS, JOSÉ RANGEL DE, A poluição do canal das piabas e seus impactos socioambientais, Campina Grande – PB, 2016
- Armitage, Neil & Albert Rooseboom (2000c). “The removal of urban litter from stormwater conduits and streams: Paper 3 – Selecting the most suitable trap”. Water SA, vol. 26, no. 2, pp 195-204.
- MASSUKADO, MIYOKO LUCIANA, Sistema de apoio à decisão: Avaliação de cenários de gestão integrada de resídos sólidos urbanos domiciliares, 2004
- CANHOLI, ALUISIO PARDO. Drenagem urbana e controle de enchentes, 2. Ed., São Paulo, Oficina de textos, 2014
- MARAIS, M., ARMITAGE, N. e WISE, C. The measuramente and reduction of urban litter entering stormwater drainage systems: paper 1 - Quantifying the problem using the city of Cape Town as case study. Water SA. v 30, n. 4. 2004, p. 469-482. Disponível em: <http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/2004/04/WaterSA_2004_04_6a.pdf>. Acesso em: 22 Jun. 2017.
- NEVES, M. G. F. P. das. Quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana. 2006. 249 f. Tese (Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

NEVES, M. G. F. P. das e TUCCI, C. E. M. Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Aspectos Conceituais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n. 3, jul/set 2008a, p. 125-135.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 2010.

PEREIRA, M.G. e MELLO, C.R. de, Hidráulica Geral, Dimensionamento de condutos livres, aula prática 08, ed. UFLA, p 02 - 05

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, 09 de janeiro de 1997.

GARCEZ, L. N; ALVAREZ, G A. Hidrologia. 2. ed. (revisada) São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1976

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2007. p. 175.

GAVA, T. Análise das Características que influenciam no surgimento de resíduos sólidos urbanos na rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio do meio, 2012

SILVA, MINELLE ENÉAS DA SILVA. A análise de indicadores de sustentabilidade na problemática de resíduos sólidos em Campina Grande – PB, 2012

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). O que é preciso saber sobre limpeza urbana. Rio de Janeiro: IBAM, 1991

MARQUES, C. E. B. Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana. 2006. 168 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Programa de Pós Graduação em Eng. Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

NEVES, M. G. F. P. das e TUCCI, C. E. M. Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Estudo de Caso. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n. 4, out/dez 2008b, p. 43-53.

CALDERONI, S. Os Bilhões Pedidos no Lixo. 4 ed. São Paulo: Humanitas editora/FFLCH/USP, 2003. 346p.

DAMIANI. A. L. População e Geografia. São Paulo: Contexto, 2006. 107p.

PINTO, N. L. de S. *et al.* Hidrologia básica. São Paulo (SP): E. Blucher, 1976. 278p.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, jan/mar 2000, p. 15-24.

TUCCI, C E. M.; PORTO, R. la L.; BARROS, M. T. de. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, Ed. da UFRGS, 1995. 428p.

SÃO PAULO, Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo, Fundação Centro tecnológico de hidráulica, 1999