

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARCOS MATEUS NEVES COELHO

**APLICAÇÃO E ANÁLISE DAS TÉCNICAS TRADICIONAIS DE DRENAGEM
URBANA COM MODELAGEM COMPUTACIONAL NOS SOFTWARES UFC8
E SWMM**

JUAZEIRO DO NORTE

2017

MARCOS MATEUS NEVES COELHO

APLICAÇÃO E ANÁLISE DAS TÉCNICAS TRADICIONAIS DE DRENAGEM
URBANA COM MODELAGEM COMPUTACIONAL NOS SOFTWARES UFC8
E SWMM

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Tavares Lacerda.

JUAZEIRO DO NORTE

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

- C614a Coelho, Marcos Mateus Neves.
Aplicação e análise das técnicas tradicionais de drenagem urbana com modelagem computacional nos *softwares* UFC8 e SWMM/ Marcos Mateus Neves Coelho. – 2017.
78 f.: il. color., enc.; 30 cm.
- TCC (Graduação) – Universidade Federal do Cariri, Centro de Ciência e Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Juazeiro do Norte, 2017.
Área de concentração: Drenagem urbana.
- Orientação: Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares.
1. Urbanização. 2. Modelagem Computacional. 3. Drenagem Urbana. 4. UFC-8. I. Título.

CDD 627.54

Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento – CRB 3/1355

MARCOS MATEUS NEVES COELHO

APLICAÇÃO E ANÁLISE DAS TÉCNICAS TRADICIONAIS DE DRENAGEM
URBANA COM MODELAGEM COMPUTACIONAL NOS SOFTWARES UFC8
E SWMM

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Roberto Tavares Lacerda (Orientador)

Universidade Federal do Cariri (UFCa)

Prof. Dr. Ary Ferreira Da Silva

Universidade Federal do Cariri (UFCa)

Me. Francisco Fábio de Sousa Feitosa

A Deus;
a pátria;
e família;
a DeMolay.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre iluminou meu caminho, fazendo com que eu sempre sentisse que no final, tudo daria certo.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Tavares Lacerda por me dar rumo ao estudo, pela paciência e disponibilidade durante esse trabalho.

Agradeço aos meus colegas e amigos, que estiveram dispostos a ajudar. Em especial Hellen Matos, Kellen Matos e Erik Piancó, que sempre me trataram com o verdadeiro espírito de companheirismo.

Agradeço aos meus pais, Marcos Aurélio e Darci Neves, pela educação e principalmente pelo amor incondicional que sempre tive, me ensinando que sempre devemos tentar ser pessoas melhores.

Por fim, agradeço ao meu grande amor, Mabel Alves, que sempre esteve comigo, me dando forças nos momentos difíceis, sempre com seus pensamentos positivos. Tudo isso seria mais difícil se não há estivesse ao meu lado. A minha alegria.

“A simplicidade é o último grau de
sophistication.” (Leonardo da Vinci)

RESUMO

No Brasil é bastante comum o sistema de drenagem urbana ser realizado em conjunto com outras obras de infraestrutura por diversos órgãos sem coordenação e planejamento adequado. A maioria das obras é feita sem estudo prévio de geologia, hidrologia e hidráulica, resultando em funcionamento totalmente ineficaz. Esse trabalho tem como principal objetivo aplicar e analisar o uso das técnicas tradicionais de drenagem urbana em uma fração da área do Bairro São José, da cidade de Juazeiro do Norte. Para auxiliar no dimensionamento e planejamento dos sistemas de drenagem urbana, foi utilizado o módulo UFC-8, desenvolvido dentro do Sistema UFC, constitui uma interface do AUTOCAD com o software Storm Water Management Model (SWMM) que utiliza as equações de Saint-Venant completas para propagação de cheia dentro da rede drenagem. Considerando o escoamento livre como não permanente. Ao final do dimensionamento, percebeu-se grandes diâmetros para os trechos das galerias (1-5), (1-6) e (1-7) que possuem 1200mm, 1500mm, 1750mm. Todos recebem contribuições de outros trechos e são as últimas três galerias que antecedem o exutório. Os cálculos foram justificados e estão corretos, a melhor saída seria traçar novamente a rede coletara, mas agora fazendo com que o sistema possua dois ou mais exutórios, visto que é tem-se uma grande área de projeto que possui grande declividade e grandes taxas e impermeabilidade. Tal ajuste diminuiria bastante as dimensões das galerias, tornando o projeto com melhor execução.

Palavras chave: Drenagem urbana. Técnicas tradicionais de drenagem urbana. Dimensionamento de um sistema de drenagem urbana. UFC8. SWMM.

ABSTRACT

In Brazil is quite common the urban drainage system be performed in conjunction with other infrastructure works for various organs without proper planning and coordination. Most of the works is made without preliminary study of geology, hydrology and hydraulics, resulting in operation totally ineffective. This work has as main objective to apply and analyze the use of traditional techniques of urban drainage in a fraction of the area of the San Jose District, the town of Juazeiro do Norte. To assist in the design and planning of the urban drainage systems, we used the UFC-8 module, developed within the UFC System constitutes an interface of AUTOCAD with Storm Water Management Model (SWMM) which uses Saint-Venant equations for full propagation within the drainage network. Considering the free flow as non-permanent. At the end of the sizing, large diameters were found for the stretches of galleries (1-5), (1-6) and (1-7) that have 1200mm, 1500mm, and 1750mm. All contributions from other excerpts and are like the last three galleries that precede the exudate. The calculations were justified and correct, a better exit would be again a collection network, but now making the system have two or more exutórios, since it has a large design area that has great slope and great rates Impermeability Such adjustment decreases a lot Like dimensions of the galleries, making the project with better execution.

Key words: Urban Drainage. Traditional techniques of urban drainage. Design of an urban drainage system. UFC8. SWMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Inexistência de sarjetas e bocas de lobo.....	3
Figura 2 – Falta de manutenção.....	3
Figura 3 – Erosão causada por escoamento de águas pluviais.	4
Figura 4 – Escadaria hidráulica ineficaz.....	4
Figura 5 – Principais elementos de um contudo livre com seção qualquer.....	15
Figura 6 – Volume de controle elementar.	17
Figura 7 – Volume de Controle.....	19
Figura 8 – Área de estudo.....	25
Figura 9 – Gráfico (tempo x intensidade) de hietograma gerado.	28
Figura 10 – Fluxograma de modelagem.....	28
Figura 11 – Delimitação de sub-bacias.	30
Figura 12 – Seção padrão de sarjeta utilizada.	31
Figura 13 – Dimensões e tipo padrão de boca de lobo utilizada.....	31
Figura 14 – Parâmetros para quantitativos de projeto.....	33
Figura 15 – Fluxograma de dimensionamento de rede.....	34
Figura 16 – Planilha de dimensionamento gerado pelo UFC8.	34
Figura 17 – Resumo de rede projetada.....	36
Figura 18 - Detalhe de dimensionamento de escadaria hidráulica.....	37
Figura 19 – Perfil de escadaria hidráulica.	38
Figura 20 – Velocidade máxima de escoamento nos trechos.	40
Figura 21 – Capacidade de funcionamento dos trechos em pico de vazão.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Elementos de microdrenagem.....	11
Tabela 2 – Grandezas características de chuva.	13
Tabela 3 - Parâmetros da equação de chuvas intensas por município	26
Tabela 4 – Períodos de retorno para diferentes ocupações.....	27
Tabela 5 - Hietograma gerado. (intervalo = 2min).....	27
Tabela 6 – Valores de C (coeficiente de escoamento).....	29
Tabela 7 – Valores de coeficientes de rugosidade de Manning.	31
Tabela 8 – Parâmetros para cálculo de rede.	33
Tabela 9 – Parâmetros de escadaria hidráulica.	35
Tabela 10 – Picos de vazão e velocidade máxima no trecho.....	39

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Apresentação	1
1.2 Problemática	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivos Gerais	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 História da drenagem urbana	5
2.2 Objetivos atuais de plano de drenagem Urbana	7
2.3 Medidas de controle	7
2.3.1 Medidas não estruturais	7
2.3.2 Medidas estruturais	8
2.4 Técnicas de drenagem	8
2.4.1 Técnicas compensatórias	8
2.4.2 Técnicas tradicionais	9
2.4.2.1 <i>Microdrenagem</i>	10
2.4.2.2 <i>Macrodrenagem</i>	12
2.5 Conceitos hidrológicos	13
2.5.1 Pluviometria	13
2.5.2 Equações de chuva (IDF)	14
2.6 Conceitos hidráulicos	15
2.6.1 Escoamento Livre	15
2.6.1.1 <i>Equação da continuidade</i>	16
2.6.1.2 <i>Equação dinâmica</i>	18
2.6.1.3 <i>Escoamento não permanente</i>	20
2.7 Ferramentas Computacionais	21
2.7.1 Módulo UFC8	21
2.7.2 SWMM	22

3	METODOLOGIA	25
3.1	Área de estudo.....	25
3.2	Dados topográficos	25
3.3	Processo de Modelagem e Parâmetros de Projeto.....	26
3.4	Dimensionamento	33
3.5	Escadaria hidráulica.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	44
	APÊNDICES	1

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Com a intensificação da ocorrência de inundações em áreas urbanas, devido à ineficiência da política de desenvolvimento urbano, à intensificação dos eventos extremos por consequência das mudanças climáticas, falta de conscientização da população local, entre outros fatores, surge a necessidade do planejamento de um sistema de drenagem urbana eficiente, que possui fator importantíssimo para o desenvolvimento urbano.

O bom funcionamento do sistema de drenagem urbano é extremamente necessário para garantir a segurança e bem-estar à população em dias de grandes precipitações. A inexistência de um sistema ou até mesmo má elaboração pode trazer problemas críticos como as enchentes nos grandes centros urbanos, cuja a taxa de permeabilidade do solo é quase nula.

Infelizmente o dimensionamento do sistema de drenagem ainda não possui qualquer norma técnica brasileira, que determine metodologias de cálculos e parâmetros de projetos adequados a situações mais corriqueiras. O que acaba tendo como segunda alternativa basear-se em planos diretores locais de drenagem, mas que pouquíssimos municípios do país possuem.

Para auxiliar nos projetos e planejamento dos sistemas de drenagem urbana, foi utilizado o módulo UFC8, que age dentro do Sistema UFC, trabalhando como um conjunto de sistemas computacionais destinados a sistemas hidráulico. É desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

O módulo UFC8 constitui uma interface do AutoCad com o software Storm Water Management Model (SWMM), que utiliza as equações de Saint Venant completas para propagação de cheia dentro da rede drenagem (ROSSMAN, 2010). Essas equações consideram o escoamento livre como não permanentes. Essa integração permite simular sua rede no SWMM a qualquer momento do dimensionamento. Depois de dimensionada, o desenho é refeito automaticamente, economizando tempo e trabalho. Além de desenhar e

dimensionar, pode-se visualizar os perfis longitudinais dos coletores. Uma das maiores vantagens do software é a geração dos quantitativos de execução e de material para a obra da rede. O software UFC-8 constitui uma interface do AutoCAD com o software Storm Water Management Model (SWMM)

Em alguns momentos do processo de modelagem, o módulo UFC8 apresentou alguns *bugs* ou travamentos sem motivos aparentes, mas com um pouco mais de análise e estudo do *software* foram contornados e foi possível explorar e gerar o maior número de resultados que o programa tinha a oferecer. Portanto esses problemas não serão citados na metodologia, por não apresentar importância no capítulo.

O objetivo deste trabalho é aplicar e analisar o uso de técnicas tradicionais de drenagem urbana com o auxílio de ferramentas computacionais, UFC8 e SWMM, na área escolhida para projeto.

Para atingir esse objetivo, foi realizado uma série de estudos para a obtenção das informações topográficas, hidrológicas e hidráulicas da área estudada, utilizando o principalmente o módulo UFC-8, que os métodos de dimensionamento tradicionais.

No capítulo 2 são apresentados os principais conceitos utilizados no trabalho. Introduzindo com referências históricas, avançado cronologicamente, chegando até os principais técnicas estruturais de drenagem atuais. Também são citados os softwares utilizados.

No capítulo 3 é mostrada a metodologia de projeto, embasando a forma de funcionamento do software UFC-8 e expondo as informações e parâmetros necessários para se dimensionar uma rede de drenagem.

No capítulo 4, são discutidos os resultados obtidos através das metodologias discutidas no capítulo anterior, havendo uma breve uma análise dos resultados obtidos.

O capítulo 5 traz as conclusões obtidas.

1.2 Problemática

Com o grande crescimento urbano e acompanhado de um ineficaz planejamento, o município de Juazeiro do Norte (CE) sofre com vários problemas estruturais urbanos, em destaque, a carência de um bom plano de drenagem urbana.

No Brasil é bastante comum o sistema de drenagem urbana ser realizado em conjunto com outras obras de infraestrutura por diversos órgãos sem coordenação e planejamento adequado. A maioria das obras é feita sem estudo prévio de geologia, hidrologia e hidráulica, resultando em funcionamento totalmente ineficaz.

O foco de estudo desse trabalho é justamente nesse problema, em que é a obra de drenagem urbana existe, mas é feita sem qualquer parâmetros e critérios de dimensionamento.

A área de estudo desse trabalho foi escolhida justamente por apresentar tais problemas citados anteriormente, como apresentado nas Figuras 1, 2, 3 e 4.

Figura 1 – Inexistência de sarjetas e bocas de lobo.



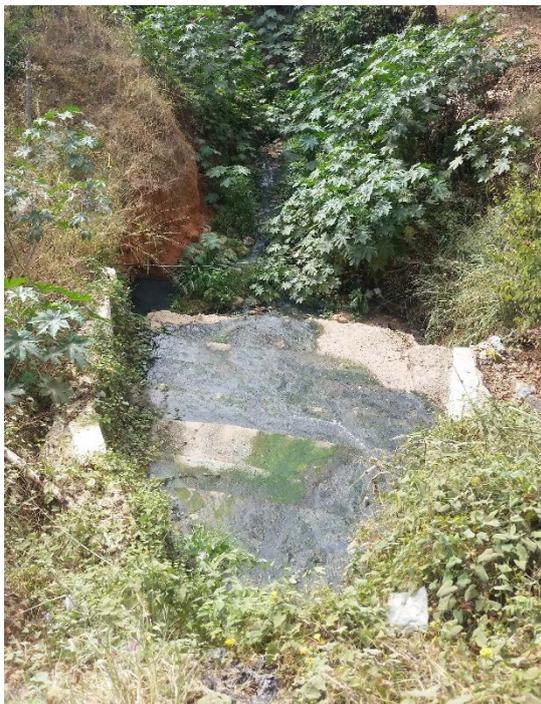
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 – Falta de manutenção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 – Escadaria hidráulica ineficaz.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 – Erosão causada por escoamento de águas pluviais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Gerais

Aplicar e analisar o uso das técnicas tradicionais de drenagem urbana com o auxílio de ferramentas computacionais, UFC8 e SWMM, em uma fração da área do bairro São José, na cidade de Juazeiro do Norte.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Obter dados topográficos e geográficos de área de projeto. (Curvas altimétricas e arruamento, respectivamente)
- b) Delimitar bacia de contribuição.
- c) Dimensionar sarjetas.
- d) Dimensionar rede coletora. (Bocas de lobo, tubos de ligações e galerias)
- e) Dimensionar dissipador de energia hidráulica. (Escadaria hidráulica)
- f) Gerar quantitativos de obra.
- g) Verificar comportamento de rede de drenagem através de simulações de escoamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História da drenagem urbana

Inicialmente, a drenagem era basicamente um complemento da irrigação, mas com o passar do tempo, foi criando-se a necessidade do domínio de técnicas para recuperar grandes extensões de terrenos inundados, regular a umidade do solo em pequenas áreas de cultivo agrícola e desviar as águas do subsolo em terrenos destinados à construção, por exemplo.

Na idade média, o evento de inundação era considerado como consequência da disponibilidade da água. Era comum cidades terem seus centros inundados, onde a água era estagnada. (Rodriguez, 1999), pois havia carência manutenção dos sistemas construídos pelos romanos e muito menos a implementação de novos sistemas. Toda o escoamento de águas pluviais era realizado pelas próprias vias de circulação, o que gerava diversos problemas. (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2001).

Já no século XIX, constata-se uma modificação da visão da sociedade sobre o problema das inundações nos centros urbanos. Com a Europa sofrendo com grandes epidemias de cólera, começam a surgir os princípios do higienismo, que tinha como preocupação a evacuação das águas pluviais e esgoto, de forma que fosse conduzido para mais longe e rápido possível, baseando-se nas técnicas de *“tout a l’égout”* ou sistema unitário francês. Essas técnicas tinham como definição básica, promover o transporte conjunto dos esgotos sanitários e águas pluviais através de canalizações enterradas, geralmente assentadas com declividades suficientes para o escoamento livre por gravidade. (AZZOUT, 1996). O primeiro sistema construído com este conceito foi em Hamburgo, em 1843, na reconstrução da cidade que havia sofrido um grande incêndio (CHOCAT, 1997).

No Brasil, as ideias do *“tout a l’égout”* foram adotadas efetivamente a partir da proclamação da República, em 1889 em sintonia com as ideias positivistas então dominantes. Estes princípios continuam a vigorar até hoje, sofrendo algumas modificações da comunidade científica e tecnológica,

por exemplo os métodos de análise de risco das áreas a serem aplicadas esse sistema e separando as redes, que agora únicas, para as águas pluviais e para o esgoto. Essa é a base dos chamados sistemas tradicionais de drenagem.

O aumento das áreas urbanizadas ocorreu a partir das zonas próximas às várzeas dos rios ou à beira-mar e foi seguindo em direção às colinas e morros, em face da intereção necessária da população com os corpos hídricos, que eram utilizados como fonte de alimento e transporte. (CANHOLI, 2005)

Hoje, 54 por cento da população mundial vive em áreas urbanas, uma proporção que pode vir a aumentar para 66 por cento em 2050. As projeções mostram que a urbanização associada ao crescimento da população mundial poderá trazer mais 2,5 bilhões de pessoas para as populações urbanizadas em 2050. Os efeitos desse processo fazem-se sentir sobre todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos, como o abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos e drenagem pluvial. (WRI, 1992).

As enchentes urbanas constituem-se num dos importantes impactos sobre a sociedade. Esses impactos podem ocorrer devido à urbanização ou à inundação natural da várzea ribeirinha. Na bacia hidrográfica rural, o fluxo é retido pela vegetação, infiltra-se no subsolo e, o que resta, escoar sobre a superfície de forma gradual, produzindo um hidrograma com variação lenta de vazão e com picos de enchentes moderados. As enchentes naturais extravasam a sua calha menos, em média, a cada dois anos, ocupando seu leito maior. (TUCCI, 1995).

Com a modernização das técnicas de drenagem, começou a ser exigido melhores projetos, com análises mais complexas e ênfase nos detalhes. Com sistemas compostos de dispositivos coletores, coletores de transporte ou galerias e emissários, conforme sua função. Esse tipo de drenagem tornou-se um método eficaz para manter a salubridade de áreas urbanas já existentes e as novas, sujeitas a alagamento.

Hoje, a execução de obras de drenagem em áreas urbanas e adjacentes faz parte de um conjunto de obras de infraestrutura necessárias para

garantir-se a integridade física das propriedades urbanas e evitar a perda de bens e vidas humanas.

2.2 Objetivos atuais de plano de drenagem Urbana

Segundo Sheaffer e Wright (1982), o plano de drenagem deve delinear alguns objetivos, como:

- a) manter as regiões ribeirinhas ainda não urbanizadas em condições que minimizem as interferências com a capacidade de escoamento e armazenamento do talvegue;
- b) reduzir gradativamente o risco de inundações a que estão expostas pessoas e propriedades;
- c) reduzir o nível existente de danos por enchentes;
- d) assegurar que os projetos de prevenção e correção sejam consistentes com os objetivos gerais do planejamento urbano;
- e) minimizar os problemas de erosões e assoreamentos;
- f) controlar a poluição difusa;
- g) incentivar a utilização alternativa das águas de chuvas coletadas, para uso industrial, irrigação e abastecimento.

2.3 Medidas de controle

São medidas de correção e/ou prevenção que visam minimizar os danos das inundações.

Essas medidas são classificadas de acordo com sua natureza, podendo ser medidas não estruturais e estruturais.

2.3.1 Medidas não estruturais

São aquelas em que se procura reduzir os danos ou consequências das inundações, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alertar e a conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem. (CANHOLI – 2005)

2.3.2 Medidas estruturais

Segundo Canholi (2005), as medidas estruturais resumem-se de modo geral nas obras de engenharia. Em que elas podem ser classificadas como medidas intensivas e extensivas.

Medidas intensivas, de acordo com seu objetivo, podem ser divididas em quatro tipos:

- a) de aceleração do escoamento:
 - canalização e obras correlatas;
- b) retardamento do fluxo:
 - reservatórios (bacias de retenção/retenção);
 - restauração de calhas naturais;
- c) desvio do escoamento: tuneis de derivação e canais de desvio;
- d) introdução de ações individuais visando tornar as edificações à prova de enchentes.

Já as medidas extensivas, correspondem aos:

- a) pequenos armazenamentos disseminados na bacia;
- b) recomposição de cobertura vegetal;
- c) ao controle de erosão do solo, ao longo da bacia de drenagem.

2.4 Técnicas de drenagem

As técnicas de drenagem urbana são divididas em dois subtipos: compensatórias e tradicionais. Ambas fazem parte das medidas de controle estruturais.

2.4.1 Técnicas compensatórias

Os sistemas compensatórios ou alternativos de drenagem urbana se opõem ao conceito tradicional de evacuação rápida das águas pluviais. Essas técnicas se baseiam na infiltração e retenção das águas precipitadas, tendo como resultado uma diminuição no volume de escoamento superficial, bem como o rearranjo temporal das vazões.

Quando adequadamente concebidos, eles podem exercer importantíssimo papel na melhoria da qualidade das águas pluviais, podendo assumir múltiplas formas e serem utilizadas em diferentes escalas. De pequenas

parcelas ou se estendendo a projetos de sistemas de drenagem para cidades inteiras. Além de poderem ser facilmente integrados ao meio ambiente, permitindo o uso diverso pela população, como em áreas de estacionamento, área de prática de esportes e ou de parques para lazer.

Baptista e Nascimento (2001) classifica essas técnicas em três tipos distintos, segundo a forma de controle de vazões:

- a) técnicas para controle na fonte:
 - poços de infiltração;
 - micro reservatórios individuais;
 - áreas de armazenamento e/ou infiltração,
 - telhados armazenadores.
- b) técnicas para controle nos sistemas viário e de drenagem:
 - pavimentos porosos,
 - valas e valetas de armazenamento e/ou infiltração,
 - áreas de armazenamento em pátios ou estacionamentos;
- c) técnicas para controle centralizado:
 - Bacias de retenção e/ou infiltração.

Estas tecnologias tomam como base de estudo a bacia hidrográfica, buscando sempre compensar sistematicamente os efeitos da urbanização, controlando na fonte, a produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização através de infiltração e evitando a sua transferência rápida para jusante, através de estruturas de armazenamento temporário.

É extremamente aconselhável que tanto para projetos de residências, como de equipamentos urbanos, sejam maximizados suas áreas vegetadas, como jardins, passeios, praças, parques entre outros. Essa prática diminui o coeficiente de impermeabilização. (TUCCI, 1995)

2.4.2 Técnicas tradicionais

Segundo Tominaga (2013), as técnicas tradicionais de drenagem urbana possuem o objetivo de captar as águas pluviais e leva-las a condutos artificiais, de preferência subterrâneos, funcionando por gravidade, sendo evacuadas das zonas urbanas e lançadas em corpos d'água rapidamente. Estes sistemas são dotados de dispositivos de captação das águas superficiais,

estruturas de condução, na forma de canais abertos ou condutos enterrados e obras complementares, como bueiros e dissipadores de energia.

Esse tipo de sistema é caracterizado pela implantação de condutos que promovem uma maior eficiência hidráulica do escoamento, que passa a ocorrer com maior velocidade. Entretanto, as técnicas tradicionais de drenagem, apresentam desvantagens. Com o aumento da velocidade do escoamento, as cheias são propagadas para jusante com maior velocidade, assim, as áreas urbanas de montante causam inundações nas áreas de jusante. Com o crescimento da ocupação das áreas de drenagem, estes sistemas são suscetíveis a apresentar falhas, podendo provocar inundações.

As técnicas tradicionais de drenagem urbana são divididas em microdrenagem e macrodrenagem.

2.4.2.1 *Microdrenagem*

O sistema de microdrenagem, também conhecido como rede inicial de drenagem ou coletor de águas pluviais, é composto pelo sistema de condutos e canais nos loteamentos ou na rede primária urbana associada ao sistema viário. Este tipo de sistema de drenagem é normalmente projetado para atender o escoamento de precipitações com risco hidrológico moderado, ou seja, para vazões de 2 a 10 anos de período de retorno, dependendo da importância da área a drenada. (TOMINAGA, 2013)

A microdrenagem inclui a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, fazendo ainda parte do sistema todos os componentes do projeto para que tal ocorra, (Botelho, 1998) sendo importante no controle da erosão por evitar o escoamento direto sobre o solo. (Andrade e Santos, 2009)

Segundo Tucci (1995), os principais elementos que compõem a rede de microdrenagem são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Elementos de microdrenagem.

Terminologia	Descrição
Galeria	Canalizações utilizadas para a condução das águas pluviais que adentram o sistema por meio das bocas-de-lobo e das ligações privadas.
Poços de Visita	Dispositivos localizados em pontos estratégicos do sistema de galerias para permitirem a inspeção e limpeza. Estes dispositivos devem ser posicionados, em média a cada 100 m, ao longo do sistema, para facilitar a inspeção e limpeza, ou em pontos onde ocorre mudança de direção, declividade e/ou diâmetro das galerias.
Trecho	Canalizações utilizadas para a condução das águas pluviais que adentram o sistema por meio das bocas-de-lobo e das ligações privadas.
Bocas-de-lobo	Dispositivos localizados nas sarjetas, em pontos estrategicamente localizados para a captação de águas pluviais. Podem ser do tipo: com grade de entrada, com grade lateral, com grade e entrada lateral e de fenda longitudinal.
Condutos de Ligação	Canalizações que conduzem as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as caixas de ligação ou poços de visita a jusante.
Meios-Fios	Estruturas dispostas entre o passeio e a via de rodagem, paralelas ao eixo da rua e cuja face superior posiciona-se no mesmo nível do passeio.
Sarjetas	Canais situados junto ao meio-fio e ao longo da via, que recebem as águas do escoamento superficial e as conduz para os locais de captação (bocas-de-lobo).
Sarjetões	Calhas localizadas nos cruzamentos de vias, que conduzem o fluxo das águas na travessia de ruas transversais ou desviam o fluxo de um lado para outro da rua. Os sarjetões podem ser formados pela própria pavimentação ou de concreto. Estruturas de Dissipação de Energia Hidráulica Devem ser utilizadas nas saídas das galerias em cursos d'água para evitar a erosão causada pela concentração do escoamento pluvial.
Condutos Forçados	Elementos que conduzem as águas pluviais sob pressão diferente da atmosférica.
Estações de Bombeamento	Equipamentos utilizados para conduzir as águas pluviais em locais onde o escoamento por gravidade não é possível.

Fonte: TUCCI, 1995.

As águas que escoam de modo superficial pelas ruas são captadas pelas sarjetas, que em geral, em forma de “V”, tendo, a parte do lado da rua,

menor inclinação do que a do passeio. As sarjetas podem ser simples ou compostas. As simples possuem uma só inclinação e as compostas, duas inclinações, dando assim, maior capacidade de escoamento. (TUCCI, 1995)

Para interceptar as águas que escoam pelas sarjetas e conduzi-las à tubulação pluvial, inserem-se as bocas de lobo. A sua utilização é objetiva, evitar o escoamento em cruzamentos de ruas, aí chamadas de pontos baixos, e evitar o aumento do escoamento acima da capacidade da sarjeta, então chamadas intermediárias.

Um dos grandes inimigos da microdrenagem é o carreamento de lixo e sedimentos para as sarjetas e bocas de lobo. Esses resíduos acabam obstruindo as entradas e tubulações. Uma das medidas contra esse problema, é o uso de poços de visita, que permitem acesso à tubulação em pontos estratégicos, tais como encontro de tubulações. (TUCCI, 1995)

2.4.2.2 *Macrodrenagem*

As estruturas de macrodrenagem destinam-se à condução final das águas captadas pela drenagem primária (microdrenagem). Dando prosseguimento ao escoamento dos deflúvios oriundo das ruas, sarjetas, valas e galerias, que são elementos englobados como estruturas de microdrenagem. De fato, a macrodrenagem de uma zona urbana corresponde à rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação, sendo constituída pelos córregos, riachos e rios localizados nos talwegues e vales. Também fazem parte da macrodrenagem os reservatórios de amortecimento implantados para a contenção de cheias (MARTINS, 1995).

A macrodrenagem pode abranger áreas superiores a 4 km² ou 400 ha e os projetos desta rede devem considerar precipitações de 25 a 100 anos de tempo de retorno (FCTH, 1999).

Semelhante microdrenagem, a manutenção do sistema de macrodrenagem é de extrema importância para o funcionamento adequado das estruturas que compõe este sistema, evitando os riscos de inundação e os riscos inerentes à poluição hídrica. As principais ações de um sistema de manutenção

adequado devem estar voltadas para o desassoreamento de canais e manutenção de equipamentos e limpeza das estruturas de armazenamento.

Os principais elementos que compõem a rede de macrodrenagem são normalmente estruturas de maiores dimensões, como canais naturais ou construídos, galerias de grandes dimensões e reservatórios de detenção e retenção. (TOMINAGA, 2013).

2.5 Conceitos hidrológicos

Bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou a um sistema de drenagem, dispondo de uma simples saída para toda vazão efluente seja descarregada (exutório).

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus efluentes. Uma bacia bem drenada tem menor tempo de concentração, ou seja, o escoamento superficial concentra-se mais rapidamente e os picos de enchente são altos (STUDART, 2006).

2.5.1 Pluviometria

As grandezas que caracterizam uma chuva são altura, duração e intensidade (BERTONI E TUCCI, 1993), são apresentadas na Tabela

Tabela 2 – Grandezas características de chuva.

Altura pluviométrica (h)	É a espessura média da lâmina d'água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação, admitindo-se que essa água não evaporasse, não infiltrasse, nem escoasse para fora dos limites da região. A unidade de medição habitual é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de chuva correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície
Duração (t)	É o período de tempo durante o qual a chuva cai. As unidade normalmente são o minuto ou a hora.
Intensidade (i)	É a precipitação por unidade de tempo, obtida como relação $i=h/t$. Expressa-se, normalmente em mm/h.

Fonte: BERTONI E TUCCI, 1993.

O período de retorno (ou tempo de recorrência) de um evento é o tempo médio em que esse evento é superado ou igualado pelo menos uma vez. É definida pela Equação 1:

$$T_r = \frac{1}{P} \quad (1)$$

Em que P é a probabilidade de o evento ser igualado ou superado e T_r é geralmente medida em anos.

Assim se uma determinada grandeza hidrológica tem a probabilidade de ser igualada ou excedida igual a 5% ($P = 0.05$), logo seu período de retorno será de 20 anos.

2.5.2 Equações de chuva (IDF)

O dimensionamento de muitas obras de engenharia, como de drenagem urbana por exemplo, requer o conhecimento da máxima precipitação esperada para o horizonte de projeto em questão. Uma forma prática de se obter a intensidade da precipitação para uma determinada localidade com duração e tempo de retorno específicos é a aplicação direta dos valores destas últimas variáveis na equação de chuva do local. (COLOMBELLI E MENDES, 2016)

Segundo Studart, 2006, a utilização prática desses dados requer que se estabeleça uma relação analítica entre as grandezas características de uma precipitação, quais sejam, a intensidade (i), a duração (t) e a frequência (P).

A equação da chuva, particular de cada localidade, é obtida partir de registros de pluviógrafos, estabelecendo-se para cada duração de chuva, as máximas intensidades. A representação geral de uma equação de chuvas intensas é apresentada pela Equação 2:

$$i = \frac{B T_r^d}{(t + c)^p} \quad (2)$$

Onde:

- T_r : período de retorno (anos);
- T : duração mínima de chuva (min);
- I : intensidade (mm/h);
- B, c, d : constantes.

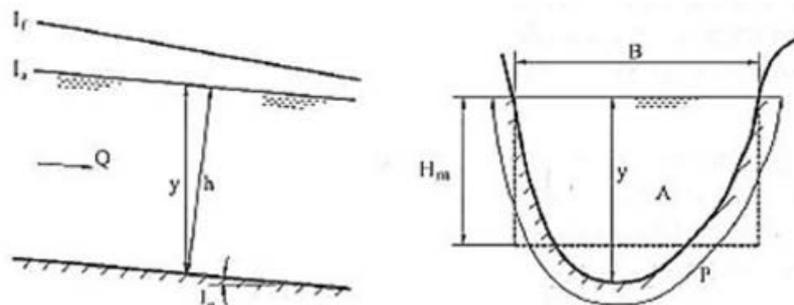
2.6 Conceitos hidráulicos

2.6.1 Escoamento Livre

Todos os elementos de drenagem utilizados para a elaboração deste trabalho comportam-se como conduto livre. Sua principal característica é a atuação da pressão atmosférica sobre a superfície do fluido, fazendo com que o escoamento aja por gravidade.

Os condutos livres podem possuir seções abertas como canais de irrigação e drenagem ou seções fechadas como galerias pluviais. Esses canais apresentam variadas formas geométricas, em que seus parâmetros podem variar com o tempo. Na Figura 5 são mostrados os principais elementos geométricos de um contudo livre com seção qualquer.

Figura 5 – Principais elementos de um contudo livre com seção qualquer.



Fonte: Fonte: PORTO, 2006, p.222

Seus elementos são (PORTO, 2006, p.222);

- Área molhada (A);
- Perímetro molhado (P);
- Raio hidráulico ($R_h = \frac{A}{P}$);
- Altura d'água ou tirante d'água;
- Altura de escoamento da seção;
- Largura de Topo (B);
- Altura hidráulica ($H_m = \frac{A}{B}$);
- Declividade de fundo (I_o);
- Declividade piezométrica (I_a);
- Declividade da linha de energia (I_f).

Características hidráulicas como altura d'água, área molhada e raio hidráulico podem variar no espaço e tempo. Usando o tempo como critério

comparativo, é possível classificar o escoamento em permanente e não permanente ou variáveis.

A definição simples do escoamento permanente é quando a velocidade local em um ponto qualquer do fluxo permanece invariável no tempo, em módulo e direção, logo os parâmetros hidráulicos como vazão, área molhada e altura d'água devem possuir valores constantes em uma mesma seção transversal.

Já o escoamento não permanente, define-se quando a velocidade em um certo ponto varia com o tempo. Logo, não existe uma continuidade da vazão, área molhada e altura d'água. As características desse tipo de escoamento dependem das coordenadas do ponto analisado e do tempo.

Agora usando o espaço como critério comparativo, pode-se classificar os escoamentos como uniformes e não uniformes ou variados

O escoamento é uniforme quando suas velocidades locais são paralelas entre si e constantes ao longo de uma mesma trajetória. Em que as trajetórias são retilíneas e paralelas, então a linha d'água sendo paralela ao fundo, temos que a declividade de fundo (I_o), declividade piezométrica (I_a) e declividade da linha de energia (I_f) são iguais para todo o trecho.

Os estudos relativos aos transitórios hidráulicos em escoamentos livres se baseiam na equação da continuidade (conservação da massa) e na equação dinâmica (quantidade de movimento), que são consideradas Leis Básicas da Mecânica (PORTO, 2006).

2.6.1.1 Equação da continuidade

A equação da continuidade pode ser escrita na forma:

$$\int_{s.c} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_{v.c} \rho dVol \quad (3)$$

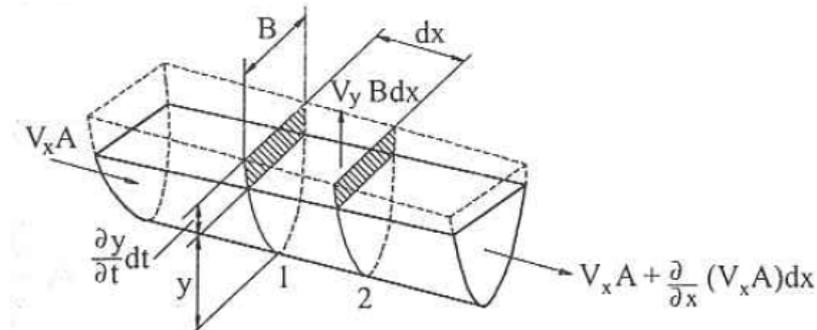
Onde:

– V: velocidade em m/s;

- A: área da seção de controle em m²;
- Vol: volume em m³;
- ρ: massa específica em kg/m³.

Isto é, a vazão em massa através da superfície de controle (S.C) é igual à diminuição por unidade de tempo da massa ($\rho \cdot dVol$) no interior do volume do controle (V.C).

Figura 6 – Volume de controle elementar.



Fonte: PORTO. 2002. (p 469)

Na hipótese do fluido ser incompressível, $\rho = \text{cte}$;, a equação da conservação da massa fica reduzida à conservação do volume, visto na Equação 4.

$$\int_{S.C} \vec{V} \cdot d\vec{A} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} dVol \quad (4)$$

Para um canal com área A em m², altura d'água y em m, largura B em m, massa específica ρ em kg/m³, velocidade média v em m/s e com abscissa x variando ao longo do canal, tem-se as Equações 5 e 6

$$-v_x A + [v_x A + \frac{\partial}{\partial x}(v_x A) dx] = -\frac{\partial Vol}{\partial t} \quad (5)$$

$$-v_x A + [v_x A + \frac{\partial}{\partial x}(v_x A) dx] = -\frac{\partial Vol}{\partial t} \quad (6)$$

Como para canais de fraca declividade e componente V_x pode ser considerada igual à velocidade média na seção, logo consideraremos V igual a vazão sobre área, ambos em m^3 e m^2 , respectivamente. Logo a equação da continuidade pode ser escrita na forma da Equação 7.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (7)$$

Onde:

- Q: vazão em m^3 ;
- A: área em m^2 .

2.6.1.2 **Equação dinâmica**

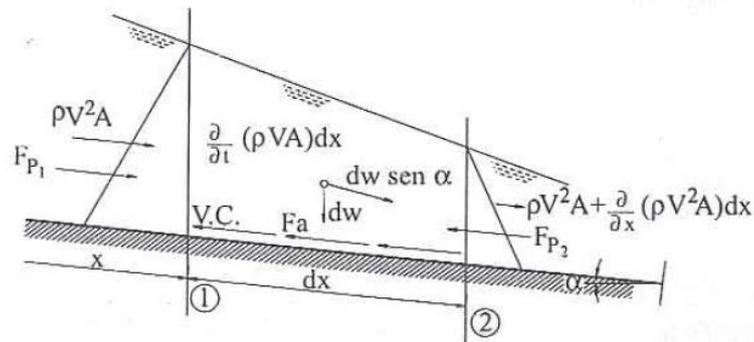
A equação dinâmica pode ser deduzida pela aplicação do Teorema da Quantidade de Movimento ao fluido que no instante t ocupa um volume de controle genérico, como visto na Equação 8.

$$\sum F = \int_{S.C} \vec{V} (\rho \vec{V} \cdot d\vec{A}) + \frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} V (\rho dVol) \quad (8)$$

Onde o somatório de todas as forças que atuam sobre o fluido contido no volume de controle (V.C) é igual ao fluxo por unidade de tempo da quantidade de movimento através da superfície de controle (S.C), mas a variação por unidade de tempo da quantidade de movimento da massa no interior do volume de controle.

As forças aplicadas ao volume de controle são apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – Volume de Controle.



Fonte: PORTO, 2006, p.472.

As forças que atuam no volume de controle podem ser descritas como:

a) Pressão:

$$dF = -\gamma A \frac{\partial y}{\partial x} dx \quad (9)$$

b) Gravidade:

$$W_x = -\gamma A \frac{\partial z}{\partial x} dx = \gamma A I_0 dx \quad (10)$$

c) Atrito:

$$F_a = -\tau_0 P dx = -\gamma I_f A dx \quad (11)$$

Onde γ é o peso específico do fluido em N/m^3 e τ_0 é a tensão média de cisalhamento sobre o perímetro molhado em N/m^2 .

Assim, temos que a força resultante sobre o volume de controle (Equação 10):

$$\sum F = \gamma A I_0 dx - \gamma A I_f dx - \gamma A \frac{\partial y}{\partial x} dx = \gamma A \left[I_0 - I_f - \frac{\partial y}{\partial x} \right] dx \quad (12)$$

Continuando a análise da equação dinâmica e a relacionando com a equação da continuidade, obtém-se:

$$\int_{S.C} \vec{v} (\rho \vec{v} \cdot d\vec{A}) + \frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} v(\rho dVol) = \rho v \left[v \frac{\partial A}{\partial x} + 2A \frac{\partial v}{\partial x} \right] dx + \rho \left[A \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial A}{\partial t} \right] dx = \rho A \left[v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} \right] dx \quad (13)$$

Igualando as equações 10 e 11, tem-se:

$$\gamma A \left[I_0 - I_f - \frac{\partial y}{\partial x} \right] dx = \rho A \left[v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} \right] dx \quad (14)$$

Dividindo a equação 12 por $\rho A dx$:

$$v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g (I_0 - I_f) \quad (15)$$

As equações 13 e 5 são equações conhecidos com Equações de Saint-Venant, que descrevem o escoamento não permanente dos canais.

2.6.1.3 *Escoamento não permanente*

Bem definidos os conceitos da equação da continuidade e equação dinâmica, pode-se então representar a equação do escoamento não permanente (Equação 14).

$$I_f = I_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v \partial v}{g \partial x} - \frac{1 \partial v}{g \partial t} \quad (16)$$

A utilização da mesma em conjunto com a equação da continuidade, constitui o modelo de propagação de cheia denominado modelo hidrodinâmico, o que proporciona uma maior precisão na descrição do escoamento.

As equações de Saint-Venant formam um conjunto de equações diferenciais parciais do tipo hiperbólico, aceitando soluções analíticas somente em problemas mais simples. Porém, existem situações físicas que não são admissíveis essas simplificações como ondas de cheia em canais, rios ou sistemas de drenagem, alterações de nível e vazão produzidas pela partida ou parada de bombas ou turbinas hidráulicas, ondas originadas por manobras de comportas em canais de irrigação, rompimentos de diques ou barragens, entre outros. Por isso, necessita-se utilizar métodos numéricos de diferentes tipos para

resolver as equações. As técnicas numéricas de discretização do domínio mais utilizadas são o método das características, método das diferenças finitas e método dos elementos finitos.

O método numérico utilizado na resolução das equações de Saint-Venant dentro do software SWMM é o método das diferenças finitas. Segundo Porto, 2006, o processo numérico de resolução de equações diferenciais, ordinárias ou parciais, consiste em substituir os termos que contenham derivadas por aproximações de diferenças finitas e resolver as equações algébricas resultantes.

2.7 Ferramentas Computacionais

2.7.1 Módulo UFC8

O Sistema UFC é um conjunto de softwares escritos em diversas linguagens de programação que realizam todas as tarefas referentes ao traçado e dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento de água, adutoras e redes de esgoto sanitário, desenvolvidos no Laboratório de Estudos em Hidráulica Computacional da Universidade Federal do Ceará. (LAHC, 2009).

O módulo UFC8 é o módulo de dimensionamento de redes de drenagem urbana, que com a interface de AUTOCAD utilizado como plataforma para a construção do traçado das redes realiza o cálculo dos seguintes elementos de drenagem: bocas de lobo, sarjetas e sarjetões e bacias de contribuição.

Segundo Guimarães (2009), foram utilizadas as seguintes linguagens computacionais para o desenvolvimento do programa: AutoLISP, Visual Basic for Applications (VBA) e Visual Basic (VB). As duas primeiras foram utilizadas no módulo gráfico como o traçado da rede e uma interface gráfica das rotinas programadas com o fundo como arruamento, locais de construção das edificações, lotes, áreas de passeio, estacionamentos, identificação de rios e córregos, entre outros.

O sistema UFC-8 permite o cálculo das precipitações de projeto através dos seguintes métodos: Equações da chuva e Taborga – Torrico.

As galerias pluviais são dimensionadas através do modelo hidrodinâmico executado pelo SWMM, utilizando as equações do escoamento não permanente.

Uma das grandes vantagens do sistema UFC-8 é que para obter o dimensionamento das galerias através da modelagem feita pelo SWMM, não há necessidade de compra do software, sendo os resultados transmitidos pelo próprio UFC 8. Porém, há a possibilidade da exportação dos dados para o SWMM, executando-o diretamente, utilizando seus atributos, como a visualização de gráficos de escoamento e simulações da onda de cheia.

2.7.2 SWMM

O Storm Water Management Model – SWMM (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana - SWMM), da EPA, é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas; pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, bem como para uma simulação contínua de longo prazo. O componente relativo ao escoamento superficial do SWMM opera com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamentos e cargas poluidoras. O módulo de transporte hidráulico do SWMM simula o percurso destas águas através de um sistema composto por tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento, bombas e elementos de regulação. O SWMM acompanha a evolução da quantidade e da qualidade do escoamento dentro de cada sub-bacia, assim como a vazão, a altura de escoamento e a qualidade da água em cada tubulação e canal, durante um período de simulação composto por múltiplos intervalos de tempo (ROSSMAN, 2010).

A versão do software utilizada nesse projeto será a 5.00.22 Brasil, que foi traduzida pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da UFPB. Onde é proporcionado um ambiente integrado, que permite a entrada de dados para a área de estudo, simular o comportamento

hidrológico e hidráulico, estimar a qualidade da água e visualizar os resultados da modelagem em uma grande variedade de formatos. (ROSSMAN, 2010)

Ainda segundo ROSSMAN (2010), o SWMM considera distintos processos hidrológicos que produzem escoamentos procedentes de áreas urbanas. Entre estes se encontram:

- a) Precipitações variáveis no tempo;
- b) Evaporação de águas empoçadas;
- c) Acumulação e degelo da neve;
- d) Interceptação de precipitações por armazenamento em depressões;
- e) Infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas;
- f) Percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos;
- g) Troca de fluxo entre os aquíferos e o sistema de drenagem;
- h) Modelagem do fluxo superficial por meio de reservatórios não-lineares;
- i) Captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos de baixo impacto.

Dentre suas aplicações, podemos citar por exemplo:

- a) Concepção e dimensionamento de componentes de drenagem para controle de inundações;
- b) Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios para o controle de inundações e a proteção da qualidade das águas;
- c) Delimitação de zonas de inundação em leitos naturais;
- d) Concepção de estratégias de controle para minimizar o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuais;
- e) Avaliação do impacto de contribuições e infiltrações sobre o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuais.
- f) Geração de poluição difusa para estudos de lançamentos de efluentes.
- g) Avaliação da eficácia das BMPs (Boas Práticas de Manejo) para reduzir o carreamento de poluentes durante a chuva.

O SWMM permite escolher o nível de sofisticação para a resolução dessas equações, através de três modelos hidráulicos: O Fluxo em Regime Uniforme, o Modelo da Onda Cinemática e o Modelo da Onda Dinâmica, em que o fluxo em regime uniforme e o modelo da onda cinemática resolvem as equações de Saint-Venant de maneira simplificada, empregando a equação de Manning para os cálculos de vazão (relacionando-a com a área e a profundidade) e da vazão máxima, respectivamente.

Já o Modelo da Onda Dinâmica resolve as equações completas, gerando resultados mais precisos. Esse modelo pode levar em conta o armazenamento nos condutos, o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas dos condutos, o remanso e o fluxo pressurizado, que ocorre quando um conduto fechado se encontra completamente cheio, de forma que a vazão que circula por ele pode ultrapassar o valor da vazão do tubo cheio, obtido pela equação de Manning. O UFC-8 utiliza esse modelo como base para o cálculo das redes. (COSTA, 2013).

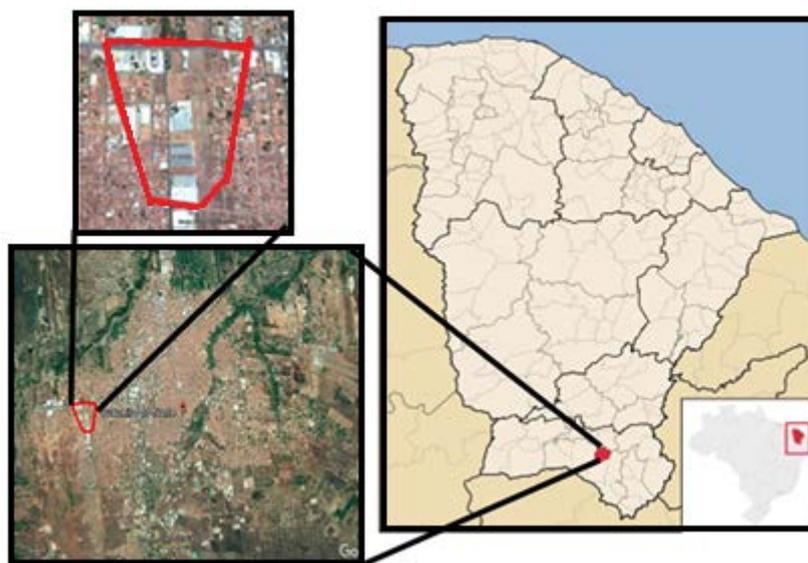
3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A cidade de Juazeiro do Norte, situado na região do Cariri é forte polo comercial e industrial do estado do Ceará. O município possui uma área de extensão de 248.832 km² e uma população de 268.248 habitantes, com densidade demográfica de 1.007,80 hab/km². (IBGE, 2016)

A área específica de aplicação para projeto encontra-se no bairro São José, próximo à divisa entre os municípios Juazeiro do Norte e Crato, a margem da Av. Padre Cícero (CE-292), como mostra a Figura 8. Com área de aproximadamente 359472,86m², possui característica de ocupação principalmente residencial, mas com a existência em escala menor de comércios e alguns galpões industriais.

Figura 8 – Área de estudo.



Fonte: Google. Adaptado. Sem escala.

3.2 Dados topográficos

Analisando sua topografia in-loco, é percebido que a área é um morro, caracterizado por considerável elevação de terreno e declividade acentuada. Para obtenção das curvas de níveis e delimitação da bacia de contribuição, foi utilizado o software de geoprocessamento Global Mapper 17. O banco de dados

utilizado foi o “Data Source: ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data”, que apresenta grau de resolução de 1 arco por segundo.

Visando obter maior precisão, foram geradas curvas de níveis com intervalos de 1m e exportadas para o formato .DWG, formato padrão de desenho no software de desenho técnico AutoCad.

O arruamento atualizado da área de estudo foi obtido por meio da Secretaria de Infraestrutura de Juazeiro do Norte.

O desenho em escala da inserção da bacia de contribuição e os blocos de arruamento da área de projeto com as curvas de níveis são mostrados no APÊNCIDE I.

3.3 Processo de Modelagem e Parâmetros de Projeto

Para o processo de modelagem em geral, foram utilizados parâmetros para equação das chuvas, tipos de sarjetas, bocas de lobo, coeficientes da bacia de contribuição.

Inicialmente, antes do traçado das bacias deve-se alimentar o módulo UFC8 com dados de intensidade da chuva que cai na região. O módulo permite calcular a precipitação através de 2 métodos: equações de chuva (IDF) e Taborga-Torrico. Escolheu-se o método de equações de chuva, aproveitando estudos já existentes na região. Segundo Fechine (2011), os parâmetros do método de equações de chuva para os três principais municípios do Cariri são:

Tabela 3 - Parâmetros da equação de chuvas intensas por município

Municípios	a	b	c	n	s
Juazeiro do Norte	26,734	0,0980	10,14	0,798	-2,90
Barbalha	21,020	0,0918	6,82	0,750	-3,05
Crato	20,240	0,0769	5,45	0,723	-2,99

Fonte: FECHINE, 2011.

A partir dos dados da Tabela 3 têm-se a equação de chuva intensas que melhor representam os dados básicos de precipitações máximas para o município de Juazeiro do Norte, com durações inferiores a 240 min, logo, temos a seguinte equação:

$$I = \frac{26,734 \cdot (Tr - 2,90)^{0,098}}{(t + 10,14)^{0,798}} \quad (17)$$

em que:

- I: é a intensidade de chuva em mm/min;
- t: é a duração em mi;
- Tr é o tempo de retorno em anos.

O Tempo de Retorno (T) utilizado foi de 5 anos, por ser um projeto de microdrenagem e uma área com características residenciais e comerciais, de acordo com a Tabela 4. O tempo de entrada (te) mínimo, que compõe o tempo de concentração (tc), foi definido em 10 minutos.

Tabela 4 – Períodos de retorno para diferentes ocupações.

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Tempo de retorno
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 - 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 - 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 - 100
	Áreas de importâncias específicas	500

Fonte: DAEE/CETESB, 1980.

Através da interação com software SWMM, é possível gerar e exibir o hietograma de precipitações utilizada para cálculo das vazões das bacias. Apresentado na Tabela 5 e Figura 9.

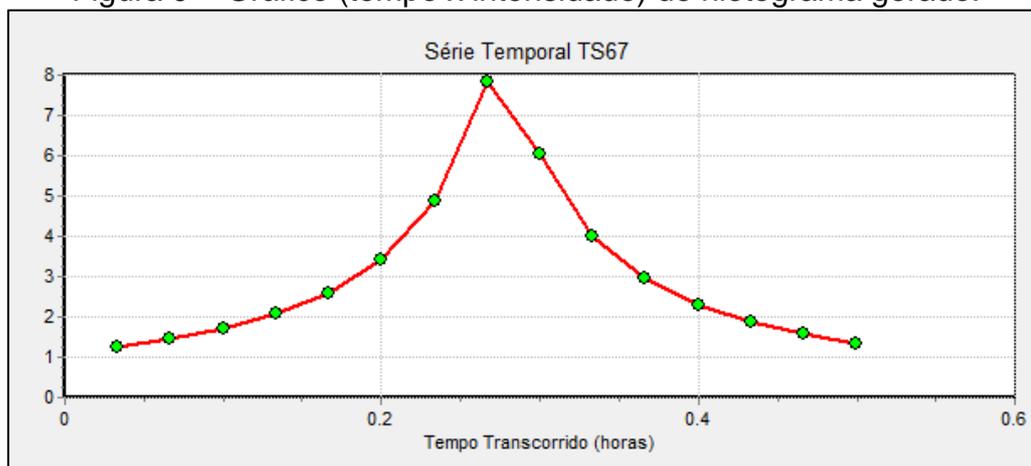
Tabela 5 - Hietograma gerado. (intervalo = 2min)

Tempo (min)	Intensidade (mm)
2.00	1.26
4.00	1.45
6.00	1.71
8.00	2.07
10.00	2.59
12.00	3.41
14.00	4.86
16.00	7.84
18.00	6.05
20.00	4.02

22.00	2.95
24.00	2.3
26.00	1.87
28.00	1.57
30.00	1.35

Fonte: Elaborado pelo autor.

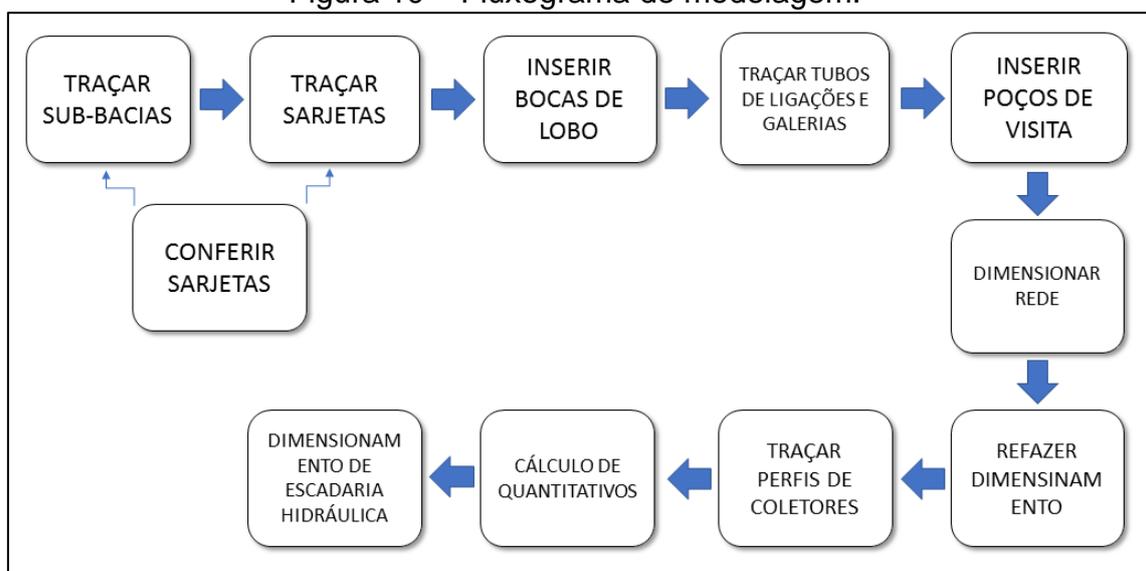
Figura 9 – Gráfico (tempo x intensidade) de hietograma gerado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após definida os parâmetros de equações de chuva, iniciou-se o desenho de modelagem da rede de drenagem. O fluxograma apresentado na Figura 10 mostra as etapas deste processo.

Figura 10 – Fluxograma de modelagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente foram traçadas as bacias de contribuição das sarjetas e bocas de lobo. Os coeficientes de escoamento utilizados para o cálculo da

vazão através do método racional foram de 0,60 para os blocos com edificações e 0,90 para áreas com tráfego de veículos, que são todas asfaltadas. Os coeficientes foram atribuídos considerando uma região de edificação não muito densa, mas com ruas e calçadas pavimentadas, de acordo com a Tabela 6.

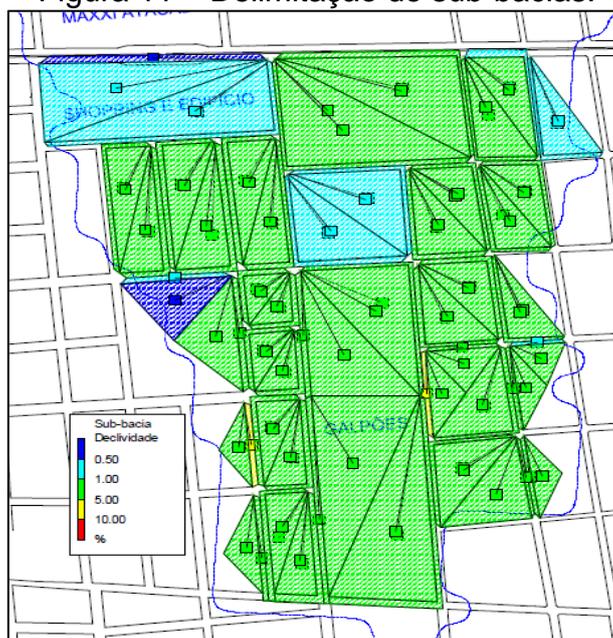
Tabela 6 – Valores de C (coeficiente de escoamento).

Zonas	C
Edificação muito densa: Partes centrais, densamente contruídas, de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
Edificação não muito densa: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 - 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,50 - 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 - 0,50
Subúrbios com alguma edificação: Partes de arabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção.	0,10 - 0,25
Matas, parques e campos de esporte: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação.	0,05 - 0,20

Fonte: TUCCI, 1995.

Delimita-se as áreas das sub-bacias de contribuição, atento a suas declividades e sempre inserindo seu exutório no ponto de menor cota da bacia, como mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Delimitação de sub-bacias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

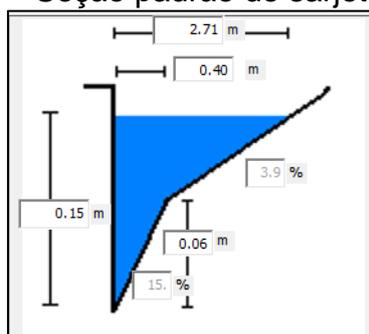
Inserem-se agora as bocas de lobo próximo ponto do exutório da sub-bacia, pois a grande maioria das sub-bacias possuem exutórios nas esquinas dos blocos loteados. As localizações das bocas de lobo foram feitas próximo ao cruzamento das ruas, mas não no limite desse cruzamento. Coloca-se algo a montante, deixando-se espaço livre pelo menos igual à largura da calçada, para facilitar a travessia de pedestres. As bocas de lobo foram inseridas para sempre captar o escoamento dos trechos das sarjetas que serão traçadas.

Então são traçadas as sarjetas que conduzirão o escoamento das bacias para as bocas de lobo. É importante ficar atento para que a direção do escoamento seja correspondente a declividade do terreno aplicado.

As sarjetas desse projeto foram adequadas para escoar de forma segura o escoamento tanto dos lotes como das vias. Também houve a preocupação de adequar os elementos da drenagem urbana com os de pavimentações.

As dimensões padrões utilizadas no projeto para sarjetas e bocas de lobo são mostradas nas Figura 12 e Figura 13, respectivamente.

Figura 12 – Seção padrão de sarjeta utilizada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 – Dimensões e tipo padrão de boca de lobo utilizada.

Boca-de-lobo combinada

Sem depressão

$$Q = FL[a(y - b)^c - d]$$

Comprimento (L) da abertura na grelha e na guia em bocas coletoras(m):

Coefficiente de segurança (F) para captação de bocas coletoras:

$a =$ $b =$

$c =$ $d =$

Fonte: Elaborado pelo autor.

As bocas de lobo simples possuem capacidade de 179,29 L/s, duas bocas de lobo em série possuem capacidade de 358,57L/s.

O coeficiente de rugosidade (número de Manning) utilizado para o escoamento das sarjetas foi de 0,016, prevendo que as sarjetas serão de concreto, tendo como base a Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de coeficientes de rugosidade de Manning.

Características	n
Canais	
retilíneos com grama de até 15cm de altura	0,30 - 0,40
retilíneos com capins de até 30cm de altura	0,30 - 0,060
Galerias	
de concreto pré-moldado com bom acabamento	0,011 - 0,014
de concreto moldado no local com formas metálicas simples	0,012 - 0,014

de concreto moldado no local com formas de madeira	0,015 - 0,020
Sarjetas	
de asfalto suave	0,013
de asfalto rugoso	0,016
de concreto suave com pavimento de asfalto	0,014
de concreto rugoso com pavimento de asfalto	0,015
de pavimento de concreto	0,014 - 0,016
pedras	0,016

Fonte: TUCCI, 1995.

Depois de inseridas bocas de lobo e sarjetas, o próximo passo é traçar as galerias. Deve-se procurar sempre o sentido do escoamento natural da topografia, caso contrário os níveis de recobrimento dos tubos seriam altíssimos, tornando a execução inviável. Analisando isso, é traçada as galerias, totalizando 7 trechos.

A escolha do local de exutório é justificada pelo local não possuir qualquer ocupação, possuindo área suficiente para a construção de um dissipador de energia hidráulica e sendo o ponto de menor cota da área de projeto, acompanhando o fluxo do escoamento gerado pela bacia de contribuição.

Traçado os trechos, os postos de visitas são adicionados automaticamente pelo módulo UFC8, nas junções dos trechos.

Após são traçados os tubos de ligações das bocas de lobo para postos de visita.

O APÊNDICE II mostra o desenho em escala com detalhes dos processos descritos nos parágrafos anteriores.

Outro detalhe importante é que antes de iniciar-se o dimensionamento, devemos atribuir parâmetros *default* para as galerias e tubos de ligações. O processo de dimensionamento usa tais parâmetros para cálculo. Esses valores são justificados para que o sistema trabalhe com uma certa margem de segurança. (TUCCI, 1995). Os valores são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros para cálculo de rede.

Parâmetro	Valores
Declividade mínima	0.005
Declividade máxima (m/m)	0.075
Velocidade máxima (m/s)	5.00
Velocidade mínima (m/s)	0.60
Lâmina d'água máxima (%)	85
Diâmetro mínimo (mm)	300
Número de Manning para concreto	0.013
Recobrimento mínimo (m)	1.00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores *default* para o cálculo de quantitativos de execução são apresentados na Figura 14.

Figura 14 – Parâmetros para quantitativos de projeto.

The screenshot shows a software interface with the following parameters and options:

- Recobrimento do terreno: TERRENO NATURAL
- Tipo de solo do terreno: ARENOSO
- Precisão na escavação: De 5 em 5 metros
- Profundidade a partir da qual haverá escoramento(m): 1.250
- Material do Colchão / Berço: BRITA
- Altura H do berço de brita/concreto(cm): 10
- Largura L da vala(cm): 100
- z (Talude): 0
- Diagrama da Vala da Assentamento: Retangular (selected) and Trapezoidal.
- Utilizar valas diferentes para cada diâmetro de acordo com o arquivo de largura de valas. (checked) - arq. valas
- Paçadinhos com pranchas em madeira(m²): Extensão da rede x 0.05
- Sinalização noturna de trânsito com barreiras(m): Extensão da rede x 0.5
- Sinalização em tapume co sentido de fluxo(m): Extensão da rede x 0.05
- Sinalização de advertência(un.): Extensão da rede / 300
- Índice de perdas de tubulação(%): 5

Fonte: Elaborado pelo autor.

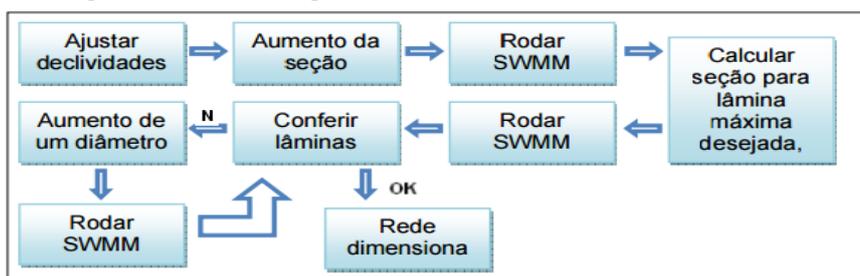
3.4 Dimensionamento

O UFC8 não obriga a conferência das sarjetas, mas, como não existe norma para redes de drenagem urbana, aconselha-se que exista essa conferência, visando um projeto de melhor qualidade. Apenas algumas sarjetas

apresentaram problemas, onde o motivo era possuíam baixíssimas declividades, diminuindo consideravelmente sua capacidade de escoamento. A solução adotada foi aumentar sutilmente suas declividades até sua capacidade de vazão superar a vazão do trecho, alimentado pelas sub-bacias.

Com as galerias e tubos de ligações traçados, utiliza-se a função de planilha de cálculos do módulo UFC8, que dimensiona as galerias de forma automática. O fluxograma das etapas é apresentado na Figura.15.

Figura 15 – Fluxograma de dimensionamento de rede.



Fonte:

Ao final do processo é gerado uma tabela com dados de comprimento de galerias, cotas, diâmetro, declividade, velocidade de escoamento máxima, lâmina d’água, a Figura 16 mostra uma semelhante.

Figura 16 – Planilha de dimensionamento gerado pelo UFC8.

Trecho	Mon.	Jus.	Comprim. (m)	CTM (m)	CTJ (m)	CCM (m)	CCJ (m)	Prof. Mon. (m)	Prof. Jus. (m)	DI (mm)	Declividade	Q. trecho(L/s)	Veloc. (m/s)
(1-1)	PV1	PV2	126.60	440.97	433.14	439.57	431.74	1.40	1.40	400	0.0619	271.62	4.17
(1-2)	PV2	PV3	94.30	433.14	428.47	431.54	426.87	1.60	1.60	600	0.0495	936.71	5.21
(1-3)	PV3	PV4	79.10	428.47	424.79	426.42	423.19	2.05	1.60	600	0.0408	1124.41	4.97
(1-4)	PV4	PV11	129.90	424.79	422.48	422.79	420.48	2.00	2.00	1000	0.0178	1879.14	4.24
(1-5)	PV11	PV14	52.70	422.48	421.52	420.28	419.32	2.20	2.20	1200	0.0182	3421.69	4.95
(1-6)	PV14	PV7	100.30	421.52	419.84	419.02	417.34	2.50	2.50	1500	0.0167	4867.89	5.26
(2-1)	PV5	PV6	128.00	442.20	434.94	440.90	433.64	1.30	1.30	300	0.0567	112.19	2.39
(2-2)	PV6	PV9	90.80	434.94	430.36	433.64	429.06	1.30	1.30	300	0.0504	204.57	3.48
(2-3)	PV9	PV10	80.20	430.36	426.56	429.06	425.26	1.30	1.30	300	0.0474	202.46	3.39
(2-4)	PV10	PV12	180.30	426.56	421.69	425.06	420.19	1.50	1.50	500	0.0270	523.36	3.54
(2-5)	PV12	PV14	69.30	421.69	421.52	419.87	419.02	1.82	2.50	800	0.0123	1147.93	2.58
(3-1)	PV13	PV12	77.50	422.02	421.69	420.52	419.87	1.50	1.82	500	0.0084	289.74	1.63
(4-1)	PV15	PV16	58.10	432.87	428.99	431.37	427.49	1.50	1.50	500	0.0668	435.16	3.51
(4-2)	PV16	PV17	118.50	428.99	425.19	427.49	423.69	1.50	1.50	500	0.0321	611.90	3.90
(4-3)	PV17	PV18	128.00	425.19	423.94	423.39	422.14	1.80	1.80	800	0.0098	913.68	2.56
(4-4)	PV18	PV11	142.10	423.94	422.48	422.14	420.68	1.80	1.80	800	0.0103	1195.87	3.02
(5-1)	PV19	PV20	125.00	435.81	431.14	434.31	429.64	1.50	1.50	500	0.0374	424.99	3.48
(5-2)	PV20	PV21	123.30	431.14	429.09	429.54	427.49	1.60	1.60	600	0.0166	732.54	3.18
(5-3)	PV21	PV22	125.40	429.09	427.34	427.29	425.54	1.80	1.80	800	0.0140	840.59	2.75
(5-4)	PV22	PV25	143.10	427.34	425.69	425.54	423.89	1.80	1.80	800	0.0115	1060.57	3.24
(5-5)	PV25	PV7	223.30	425.69	419.84	423.89	418.04	1.80	1.80	800	0.0262	1413.81	4.55
(6-1)	PV24	PV25	78.50	426.64	425.69	425.24	424.29	1.40	1.40	400	0.0121	113.73	1.82
(7-1)	PV7	Fim	18.30	419.84	419.33	417.09	416.58	2.75	2.75	1750	0.0279	7394.97	7.06
1	BC4	PV2	11.50	433.75	433.14	432.45	431.84	1.30	1.30	300	0.0530	127.14	3.26
2	BC3	PV2	11.90	433.95	433.14	432.65	431.84	1.30	1.30	300	0.0681	126.02	3.57
3	BC5	PV2	8.50	433.30	433.14	431.80	431.64	1.50	1.50	500	0.0188	419.07	2.94
4	BC1	PV1	12.70	441.67	440.97	440.37	439.67	1.30	1.30	300	0.0551	140.55	3.38
5	BC2	PV1	11.50	441.47	440.97	440.17	439.67	1.30	1.30	300	0.0435	133.96	3.05
6	BC6	PV3	12.20	429.11	428.47	427.81	427.17	1.30	1.30	300	0.0525	97.96	3.04

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.5 Escadaria hidráulica

Possuindo os valores de projeto do exutório, como cota, vazão, velocidade e altura máxima de escoamento, foi feito o cálculo da escada hidráulica com bacia de dissipação de fundo plano tipo I da USBR pelo módulo UFC8, usando como dados básicos a Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros de escadaria hidráulica.

Dados básicos da Escada Hidráulica	Valores
Comprimento máximo (m)	50.0
Cota Soleita do Tubo (m)	416.0
Cota NA Jusante (m)	413.0
Diferença de nível (m)	3.00
Velocidade máxima (m/s)	3.67
Vazão máxima (m ³ /s)	7.39
Profundidade máxima (m)	1.37
Diametro da tubulação (m)	1.75
Inclinação sugerida (m/m)	0.06

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por conta de ser um trabalho que tem como objetivo elaborar um projeto de drenagem urbana, foi preferível que os desenhos de traçado da rede e perfis dos coletores, tabelas com os dimensionamentos da rede e sarjetas e dos quantitativos de obra, fossem gerados em vários apêndices, a fim de que pudesse ser apresentado o maior número de detalhes do projeto. Portanto, esse capítulo apresentará os resultados de forma resumida.

O projeto também conta com 79 sarjetas, que escoam a vazão gerada pelas sub-bacias para as 52 bocas de lobo do sistema. Em 6 casos, houve a necessidade de combinar 2 bocas de lobo em série, visto que apenas 1 boca de lobo não possuía capacidade suficiente para escoar a vazão máxima de projeto no trecho. A planilha de cálculo das sarjetas é apresentada através do APÊNDICE IV e o desenho do traçado do APÊNDICE V.

A rede projetada conta com 46 tubos de ligação e 23 galerias, dividido em 7 trechos principais. Todos os tubos são circulares e de concreto armado, com diâmetros entre 300mm e 1750mm e classe PA-1 para galerias e PA-2 para os tubos de ligação. A Figura 17 mostra um pequeno resumo dos elementos da rede projetada.

Figura 17 – Resumo de rede projetada.

Número de trechos de rede:	23
Número de trechos de ligação:	46
Extensão total de tubos de rede:	2492.6
Extensão total de tubos de ligação:	547.6
Extensão total de tubulação:	3040.2
Número de poços de visita:	23
Número de caixas de visita:	0
Número de caixas de ligação:	0
Número de bocas coletoras:	46

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os APÊNDICES VI e VII apresentam o desenho em escala da rede projetada de forma mais detalhada e a planilha de cálculo do dimensionamento da rede, respectivamente.

O módulo UFC8 conta com a função de gerar perfis das redes dimensionadas, onde é mostrado o que ocorre com o coletor e o terreno acima dele. Quanto mais pontos entre as singularidades tiverem suas cotas do terreno calculadas, mais preciso será o perfil longitudinal.

Os APÊNDICES VIII, IX, X, XI, XII, XIII e XIV mostram de cada trecho os perfis das galerias e poços de visitas com as cotas do terreno calculadas de 5 em 5 metros.

O resumo de quantitativos é apresentado pelo APÊNDICE XV.

O resultado do dimensionamento da escadaria hidráulica é um comprimento total de 65,13m, contando com os 12m da bacia de dissipação. O número de degraus foi 5, possuindo altura de 75cm a cada 10,1m. Sua largura foi de 3m. As Figuras 18 e 19, detalham todas suas dimensões e cotas, respectivamente.

Figura 18 - Detalhe de dimensionamento de escadaria hidráulica.

Dados básicos da Escada Hidráulica						
Comprimento máximo da Escada (m):	Cota NA Jusante (m):	Cota Soleira do Tubo (m):	Diferença de nível (m):	Velocidade Máxima (m/s):	Vazão máxima (m³/s):	Profundidade máxima (m):
50.00	413.00	416.00	3.00	3.67	7.39	1.37

Principal | Perfil | Planta | Memorial de cálculo |

Número de degraus:

Trecho do tubo:

Receptor da vazão:

D (m):

H (m):

$0.0916 \cdot (h/b)^{-(-1.276)}$:

T (m):

Fr1:

Pedras toscas cimentadas no concreto

Ressalto Hidráulico

Bacia de Dissipação do Tipo I do USBR

B (m):

h/b :

$0.91 \cdot 0.14 \cdot (h/b)$:

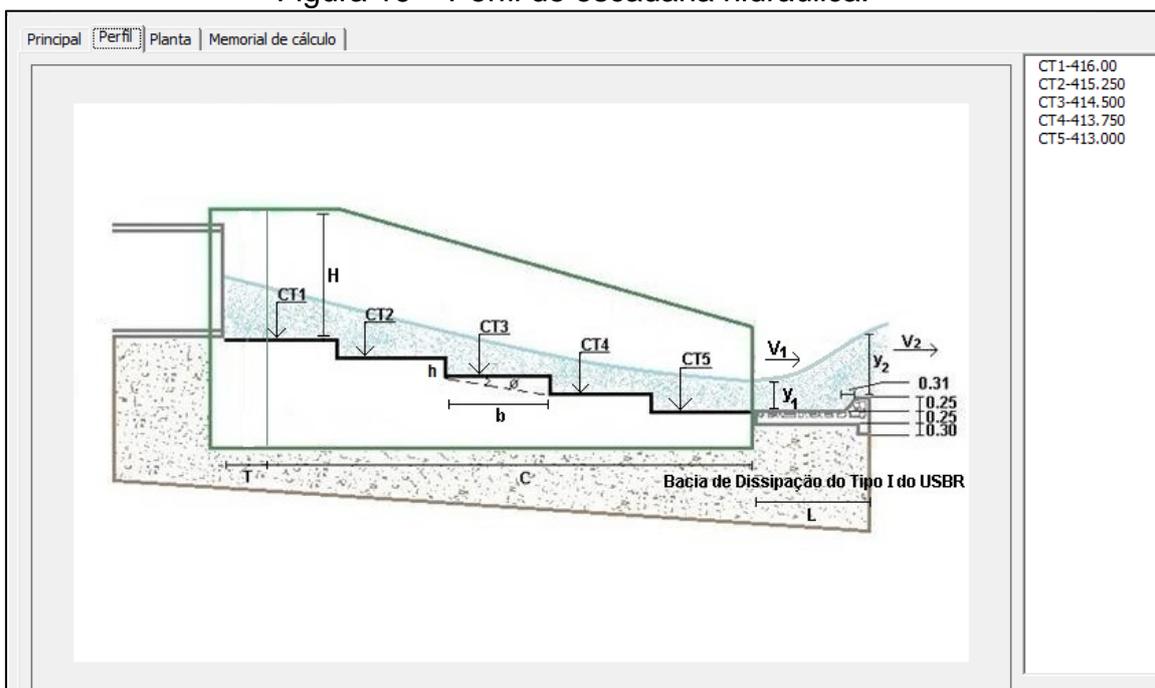
C (m):

$v1$ (m):

yc (m): <input type="text" value="0.77"/>	h (m): <input type="text" value="0.75"/>	b (m): <input type="text" value="10.10"/>
θ graus: <input type="text" value="4.20"/>	W (m): <input type="text" value="4.50"/>	Class. do escoamento: <input type="text" value="NA1"/>
$1.1 - 0.4 \cdot h/b$: <input type="text" value="1.07"/>	$yc \cdot h$: <input type="text" value="1.03"/>	$C + L + T$ (m): <input type="text" value="65.13"/>
L (m): <input type="text" value="12.00"/>	$V1$ (m/s): <input type="text" value="2.33"/>	

Fonte:Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Perfil de escadaria hidráulica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A escadaria hidráulica apresenta como principais resultados a redução da velocidade máxima de 7,39m/s para 2,33m/s e altura crítica de 1,37m para 0,91m. Sua classificação de escoamento é NA1.

A eficiência da escadaria é de 70%, ou seja, essa é a porcentagem de redução da energia inicial. Mesma a escadaria possuindo grandes dimensões, é justificável tal dado, visto tamanha vazão e velocidade de pico.

Todo o memorial de cálculo da escadaria hidráulica é apresentado no APÊNDICE III.

A parte de analítica deste trabalho, é expor os resultados das simulações geradas pelo software SWMM e ver o comportamento da rede dimensionada de acordo com o tempo de chuva. Foi simulado uma precipitação de duração 2h.

Analisando as tabelas geradas, é visto que o fluxo médio do sistema é de 1393,85 L/S e máximo de 7419,03 L/S. Sendo o instante de pico variando entre 20 e 22 min, em cada trecho específico, como é visto na Tabela 10.

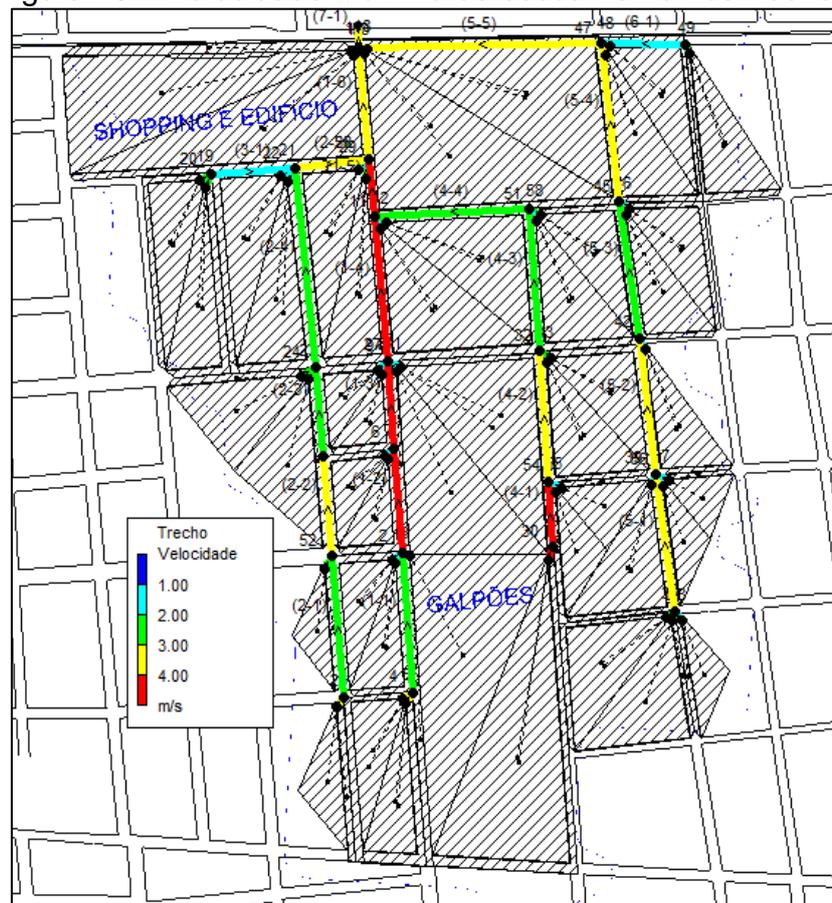
Tabela 10 – Picos de vazão e velocidade máxima no trecho.

Trechos de galerias	Vazão máxima (L/S)	Instante de pico (hr:min)	Velocidade de escoamento máxima (m/s)
(1-1)	272.53	0:20	2.84
(1-2)	935.72	0:20	4.62
(1-3)	1122	0:20	4.97
(1-4)	1875.09	0:21	4.24
(1-5)	3430.49	0:21	4.61
(1-6)	4884.98	0:21	3.59
(2-1)	112.1	0:20	2.4
(2-2)	205.02	0:20	3.49
(2-3)	203.7	0:20	3.05
(2-4)	527.99	0:20	2.96
(2-5)	1153.97	0:21	3.23
(3-1)	289.24	0:21	1.97
(4-1)	435.04	0:22	4.83
(4-2)	613.09	0:20	3.9
(4-3)	911.1	0:21	2.23
(4-4)	1196.77	0:21	2.74
(5-1)	422.57	0:20	3.85
(5-2)	733.4	0:20	3.18
(5-3)	841.41	0:21	2.81
(5-4)	1051.71	0:22	3.09
(5-5)	1414.15	0:22	3.29
(6-1)	113.69	0:22	1.82
(7-1)	7419.03	0:22	3.68

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 20 mostra o comportamento da rede em relação a velocidade de escoamento em cada trecho. Quando submetida a precipitação máxima de projeto, é visto que a rede se comporta de forma que obedece os parâmetros de dimensionamento, onde a velocidade de escoamento máxima de é 5m/s. Porém existem desvantagens, altas velocidades fazem com o sistema sofra mais com o desgaste, necessitando de manutenções com maior frequência.

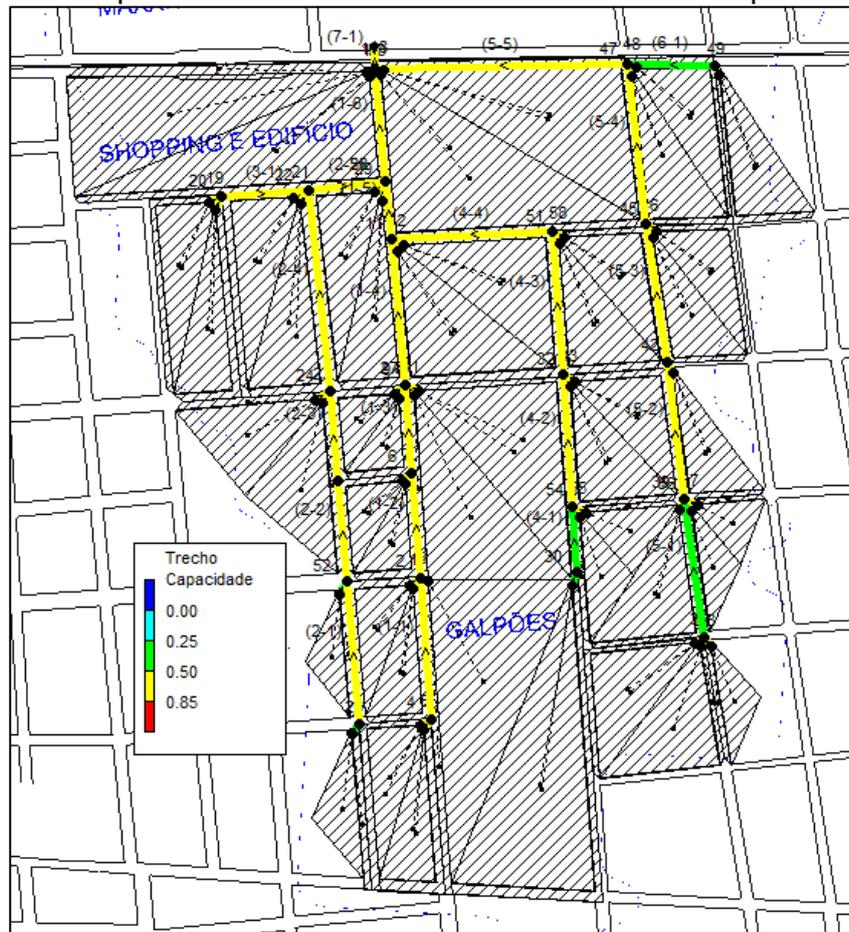
Figura 20 – Velocidade máxima de escoamento nos trechos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 21 mostra o uso da capacidade de escoamento da rede submetida a precipitação máxima de projeto. Novamente, o dimensionamento obedeceu aos parâmetros atribuídos inicialmente, em que a lâmina máxima de escoamento é de 85% da capacidade total do tubo. No intuito de evitar obstruções por deposição de lixo e sedimentos.

Figura 21 – Capacidade de funcionamento dos trechos em pico de vazão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ambas as figuras foram geradas no instante de vazão máxima do sistema, 22min.

5 CONCLUSÃO

O estudo focou-se principalmente no dimensionamento de rede de galerias através do uso das técnicas tradicionais de drenagem urbana. Para isso, foram utilizados os softwares UFC8 e SWMM, que se baseiam nas equações de Saint-Venant completas para propagação de cheia dentro da rede drenagem, considerando o escoamento livre como não permanente.

Em relação ao uso do software UFC8, ficaram bastante claras as facilidades que o mesmo proporciona para o projetista em realizar projetos de redes de drenagem urbana, o dividindo bem as três etapas de projeto; desenho, dimensionamento e quantitativos.

Ao final do dimensionamento, percebeu-se grandes diâmetros para os trechos das galerias (1-5), (1-6) e (1-7) que possuem 1200mm, 1500mm, 1750mm. Todos recebem contribuições de outros trechos e são as últimas três galerias que antecedem o exutório. Os cálculos foram justificados e estão corretos, a melhor saída seria traçar novamente a rede coletora, mas agora fazendo com que o sistema possua dois ou mais exutórios, visto que existe uma grande área de projeto que possui grande declividade, taxas e impermeabilidade. Tal ajuste diminuiria bastante as dimensões das galerias, tornando o projeto com melhor execução.

Na intenção de reduzir os danos a jusante causados pela alta velocidade de escoamento, foi adicionada ao projeto de redes coletoras, uma escadaria hidráulica, que reduziu a energia de escoamento em 70%.

Visto que a área de projeto possui declividade acentuada, o sistema tende a trabalhar sempre próximo das velocidades máximas permitidas pelo projetista. Analisando isso, conclui-se seria bastante interessante que o sistema clássico de drenagem trabalhasse em conjunto com projetos de técnicas compensatórias de drenagem. Aumentando a taxa de permeabilidade do solo e consequentemente reduzindo a velocidade de escoamento superficial.

Para estudos posteriores, recomenda-se o estudo da alternativa de retraçado da rede, utilizando mais de um exutório. A análise comparativa com

esse trabalho utilizando ao invés de asfalto, algum outro tipo de pavimentação, com o coeficiente de permeabilidade maior. E por fim, a aplicação das técnicas de tradicionais de drenagem urbana no restante da área de contribuição da bacia, que é localizado abaixo do exutório final de projeto desse trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R; SANTOS, M. **Análise dos Problemas de Drenagem Urbana nos Bairros Vila Operária e Aeroporto**. Teresina - PI: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, 2009.

AZZOUT, Y. **Aide a la décision appliquée au choix des techniques alternatives en assainissement pluvial**. Tese de doutorado. Méthodes de conception en aménagement, bâtiment et techniques urbaines – L’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, França. 1996.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. **O contexto da drenagem urbana**. Texto da disciplina de drenagem urbana do programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da escola de engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 2001.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1993.

CANHOLI, A.P., 2005. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos, São Paulo.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. São Paulo, DAEE/CETESB, 1980.

CHOCAT, B. (Coord.) Encyclopédie de l’hydrologie urbaine et de l’assainissement. Lavoisier. Paris, França. 1124 p. 1997.

COLOMBELLI, K; MENDES, R. **Determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Videira, SC**. Unoesc & Ciência - ACET, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 169-180, jul./dez. 2013.

COSTA, Gabriela N.P. **Comparação dos métodos de escoamento não permanente e permanente uniforme para o dimensionamento de galerias de drenagem**. 2013. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. São Paulo, 1999.

IBGE. Censo Demográfico. 2010.

MARTINS, J. R. S. **Obras de Macrodrenagem**. In: Tucci,C.E.M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995, V.5.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. Ed. EESC USP. São Carlos, 2006.

ROSSMAN, L. A., **Storm Water Management Model: User’s guide V.5.**, NEW York, US EPA, 2010.

SHEAFFER, J. R.; WRIGHT, K. R. **Urban storm drainage management**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1982.

SOBRINHO, Vicente Fachine. **Aplicação do Método das Isozonas na Obtenção das Equações IDF de Chuvas Intensas dos Municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato – CE.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Novembro 2011. Juazeiro do Norte.

STUDART, T. M. C. **Notas de aula: Hidrologia.** Universidade Federal do Ceará. 2006. Fortaleza.

TOMINAGA, E.N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte.** 2013. 137f. Dissertação de Mestrado.- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

TUCCI, C.E.M; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 1995;

WRI, 1992. **World Resources 1992-1993.** New York: Oxford University Press.



TÍTULO:

APÊNDICE I

AUTOR:

Mateus Coelho

ASSUNTO:

DESENHO: CURVAS - ARRUAMENTO - BACIA DE DENTENÇÃO

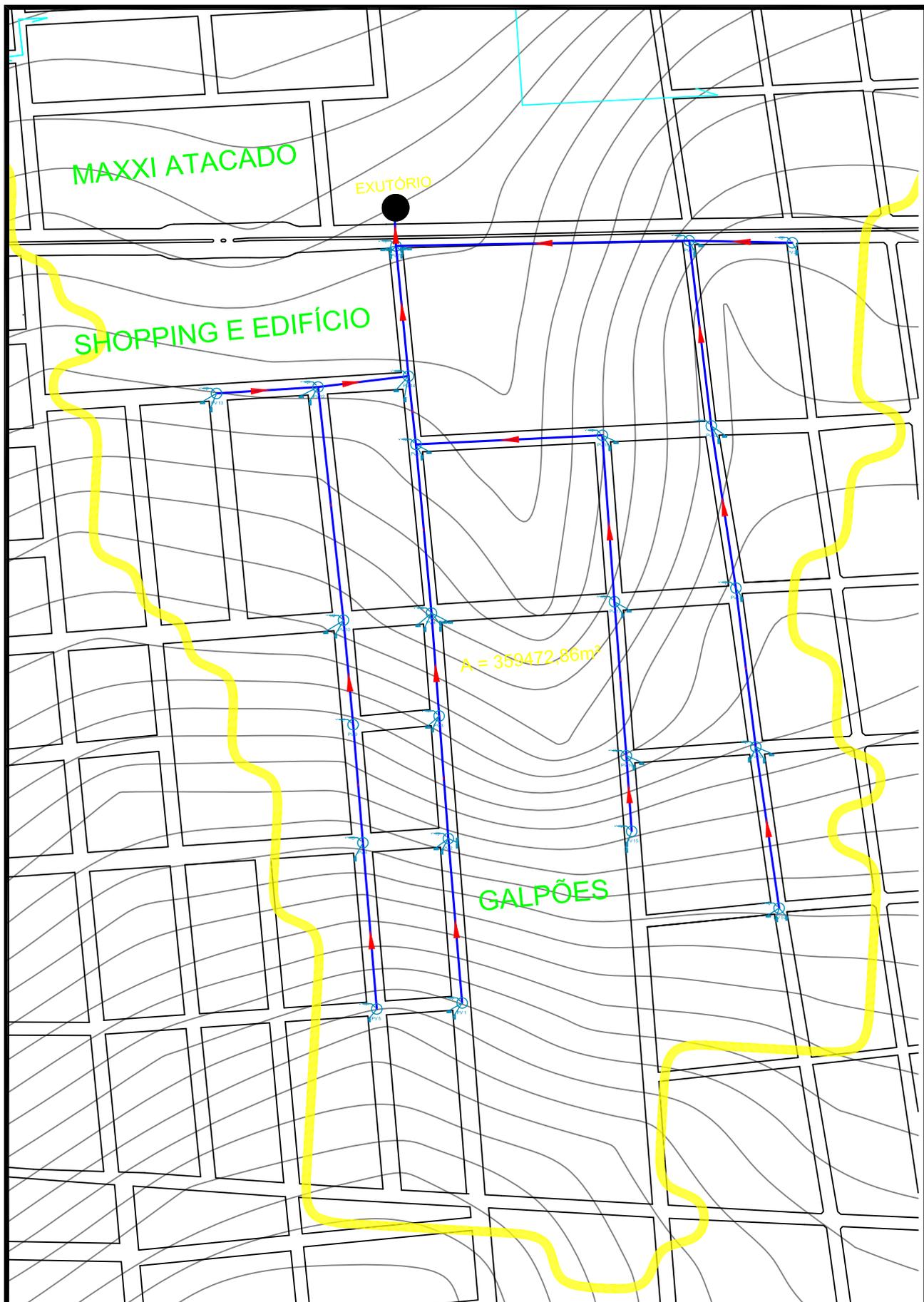
ESCALA:

1/4000

DATA:

16/01/17

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI



TÍTULO:

APÊNDICE II

AUTOR:

Mateus Coelho

ASSUNTO:

TRAÇADO DE GALERIAS E TUBOS DE LIGAÇÕES NÃO DIMENSIONADO

ESCALA:

1/4000

DATA:

16/01/17

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

APÊNDICE III

UFC8- ESCADA HIDRAULICA MEMORIAL DE CALCULO

DADOS GERAIS:

Vazao de pico $Q = 7.39 \text{ m}^3/\text{s}$
Diâmetro Nominal = 1.75 m
Velocidade Máxima 3.67 m/s
Profundidade Máxima 1.37 m
Cota Soleira do Tubo = 416.00 m
Cota NA de jusante = 413.00 m
Diferença de nível = 3.00 m
Distancia máxima horizontal que pode ser utilizada = 50.00 m
 $h/b_{\text{sugerido}} = 0.06$
descrição: NA1

#####

- Calculo de B (m) (largura da escada)

$$B = 2 * D$$

ONDE:

$$D \text{ (diâmetro do tubo)} = 1.75 \text{ m}$$

$$B = 3.50 \text{ m}$$

#####

Calculo de W (m)

$$W = B + 1$$

$$W = 4.50 \text{ m}$$

#####

- Calculo de yc (m) (profundidade critica da agua no início da escada)

$$yc = [Q^2 / (g * B^2)]^{1/3}$$

ONDE:

$$yc = 0.77 \text{ m}$$

g = aceleracao da gravidade

#####

- Estimativa Inicial de h: hi

$$hi = 0.9 * yc$$

$$hi = 0.69 \text{ m}$$

#####

- Calculo do numero de degraus da escada

$$n_{\text{degraus}} = \text{Diferença de nível} / h + 1$$

$$n_{\text{degraus}} = 4.34$$

$$\text{Adotaremos } n_{\text{degraus}} = 5.00$$

#####

- Calculo de h

$$h = \text{diferença de nível} / n_{\text{degraus}} - 1$$

$$h = 0.75 \text{ m}$$

#####

- Calculo de b (m) (comprimento do degrau)

$$b = \text{comprimento_escada} / n_{\text{degraus}}$$

$$b = 10.00 \text{ m}$$

$$\text{Adotaremos } b = 10.10 \text{ m}$$

observação: comprimento_escada é limitado manualmente pelo usuário

#####

Calculo do angulo FI

$$h/b = 0.07$$

$$FI = \arctan(h / b)$$

$$FI = 4.25 \text{ graus}$$

#####

Verificacao do regime de escoamento na escada-

$$yc / h = 1.03$$

$$0.091 * (h/b)^{-1.276} = 2.53$$

$$0.91 - 0.14 * (h/b) = 0.90$$

$$1.1 - 0.4 * (h/b) = 1.07$$

$$h/b = 0.07$$

$$yc / h < 0.091 * (h/b)^{-1.276}$$

regime: NA1

Calculo de $y1$ (m)

Calculo da profundidade equivalente uni forme:

$$y_o = yc * 0.215 * (\text{sen } FI)^{-1/3}$$

$$y_o = 0.39 \text{ m}$$

Numero de Froude Fr do escoamento bifasico (agua + ar) -

$$Fr = (Q / B) / (g * \text{sen}(FI) * h^3)^{0.5}$$

$$Fr = 13.78$$

#####

Calculo da profundidade da mistura agua-ar:
 $y_a = h * 0.5 * Fr^{(0.1 * \tan FI + 0.5)}$
 $y_a = 1.42 \text{ m}$
 $y_1 = (y_a + y_0) / 2$
 $y_1 = 0.91 \text{ m}$

#####

Calculo de V1
 $V1 = Q / (y1 * B)$
 $V1 = 2.33 \text{ m/s}$

#####

Calculo de Froude Fr1
 $Fr1 = V1 / (g * y1)^{0.5}$
 $Fr1 = 0.78$

#####

Calculo do numero de Froude no inicio da transicao
 $FrT = V_{max} / (g * y_{max})^{0.5}$
 $FrT = 1.00$

#####

Calculo do comprimento da transicao entre o tubo e o primeiro degrau (m)
 $T = (3 * FrT) * (B - D) / 2$
 $T = 2.63 \text{ m}$

#####

Calculo de C (m)
 $C = b * n_{degraus}$
 $C = 50.50 \text{ m}$

#####

Calculo de L (m)
 $L_{bacia} = 7.02 * (q^{0.633}) * (\text{diferenca de nivel})^{0.05}$
 $L_{bacia} = 12.00 \text{ m}$

#####

Calculo de C + L + T (m)
 $C + L + T = 65.13 \text{ m}$

#####

Calculo da altura da parede H (m)
 $H = D * 1.2$
 $H = 2.10 \text{ m}$
 $H \text{ adotado} = 2.20 \text{ m}$

#####

Calculo de k/Dh:
 $Dh = 4 * y1$
 $Dh = 3.63$
 $k = h * (\cos \text{ fi})$
 $k = 0.75$

#####

Calculo de Hdam / yc
 $H_{dam} = \text{diferenca de nivel}$
 $H_{dam} = 3.00$
 $H_{dam} / y_c = 3.90$

#####

Porcentagem de dissipação de energia na escada e na bacia de dissipação Tipo I do USBR
Dissipação de energia na escada hidráulica (DEE)
 $DEE = 1 - \exp\{-0.045 (K/Dh)^{0.1} * (\sin \text{ fi})^{(-0.8)}\} * H_{dam}/y_c\}$
 $DEE = 0.70$

#####

Dissipação de energia no ressalto hidráulico:
 $DER = 0.00$

#####

Dissipação de energia total (DET)
 $DET = (1 - DEE) * (1 - DER)$
 $DET = 0.70$

APÊNDICE IV – Planilha de dimensionamento das sarjetas.

Trecho	CTM(m)	CTJ(m)	Comp.(m)	Decliv.	Bacia 1	Bacia 2	Capac.(L/s)	Q trecho(L/s)
(1-1)	447.38	446.83	49.6	0.0111	48	2	141.2	22.74
(1-2)	446.83	441.41	141.14	0.0384	48	2	262.63	87.44
(2-1)	447.38	442.44	134.98	0.0366	49	3	256.4	59.64
(2-2)	442.44	441.41	50.55	0.0204	49	3	191.42	81.97
(3-1)	446.64	433.15	272.7	0.0495	50	1	402.81	305.34
(4-1)	447.33	442.39	133.22	0.0371	51	19	258.14	63.53
(5-1)	441.83	440.86	50.66	0.0191	52	4	185.22	20.98
(5-2)	440.86	433.71	114.78	0.0623	52	4	334.52	68.51
(6-1)	441.83	435.13	114.77	0.0584	54	5	323.88	47.97
(6-2)	435.13	433.71	51.82	0.0274	54	5	221.84	69.63
(7-1)	441.77	435.44	114.77	0.0552	53	20	314.88	48.73
(8-1)	434.38	432.83	51.97	0.0298	55	6	231.36	20.42
(8-2)	432.83	428.97	78.83	0.049	55	6	296.67	51.4
(9-1)	434.38	430.52	77.52	0.0498	56	7	299.08	29.58
(9-2)	430.52	428.97	52.76	0.0294	56	7	229.8	49.71
(10-1)	429.88	428.44	52.89	0.0272	57	8	221.03	19.57
(10-2)	428.44	425.17	65.7	0.0498	57	8	299.08	43.88
(11-1)	429.88	426.61	66.69	0.049	58	9	296.67	25.31
(11-2)	426.61	425.17	53.55	0.0269	58	9	219.81	45.64
(12-1)	434.74	426.91	156.64	0.05	60	26	299.68	115.37
(13-1)	427.93	426.91	130.39	0.0078	59	21	118.36	99.79
(14-1)	433.15	424.82	168.34	0.0495	61	10	298.18	187.44
(15-1)	427.56	427.26	52.17	0.0058	62	24	102.07	24.51
(15-2)	427.26	422.25	168.72	0.0297	62	24	230.97	103.77
(16-1)	427.56	422.61	169.31	0.0292	63	25	229.02	72.97
(16-2)	422.61	422.25	52.94	0.0068	63	25	110.52	95.79
(17-1)	427.16	426.54	64.58	0.0096	64	22	131.31	34.23
(17-2)	426.54	421.89	167.6	0.0277	64	22	223.06	123.05
(18-1)	427.16	422.16	168.37	0.0297	65	23	230.97	82.71
(18-2)	422.16	421.89	61.64	0.01	65	23	134.02	112.99
(19-1)	426.28	424.81	55.27	0.0266	66	11	218.58	24.22
(19-2)	424.81	421.84	166.54	0.0178	66	11	178.81	97.18
(20-1)	426.28	421.88	167.4	0.0263	67	12	217.35	78.88
(20-2)	421.88	421.84	57.52	0.01	67	12	134.02	105.99
(21-1)	424.78	424.57	128.72	0.01	68	13	134.02	78.16
(21-2)	424.57	422.47	117.55	0.0179	68	13	179.31	149.54
(22-1)	424.78	423.69	116.12	0.0094	69	14	129.94	69.26
(22-2)	423.69	422.47	131.38	0.015	69	14	164.14	147.62
(23-1)	433.12	425.19	176.66	0.0449	70	28	283.99	120.8
(23-2)	425.19	424.82	126.77	0.01	70	28	134.02	86.68
(24-1)	427.16	422.36	216.42	0.0222	71	17	199.69	169.78

(24-2)	422.36	419.95	145.2	0.0166	71	17	336.66	283.69
(25-1)	427.16	425.47	138.75	0.0122	72	18	148.03	109.03
(25-2)	425.47	419.95	213.27	0.0259	72	18	285.97	276.63
(26-1)	422.54	421.42	271.44	0.015	73	15	217.63	180.45
(26-2)	421.42	419.81	95.8	0.0168	73	15	344.21	244.14
(27-1)	419.86	419.81	268.64	0.006	74	16	277.53	260.13
(28-1)	446.64	443.95	127.55	0.0211	75	27	194.68	104.84
(28-2)	443.95	433.12	279.55	0.0387	75	27	407.24	334.62
(29-1)	439.46	435.99	111.34	0.0312	76	30	236.73	101.9
(30-1)	441.24	436.28	111.82	0.0444	77	29	282.4	57.01
(30-2)	436.28	435.99	97.4	0.008	77	29	119.87	106.67
(31-1)	439.27	435.88	113.07	0.03	78	31	232.13	42.33
(32-1)	435.82	429.53	117	0.0538	79	34	310.86	53.98
(33-1)	431.31	429.53	87.67	0.0203	80	33	190.95	47.95
(34-1)	435.82	435.68	95.25	0.004	81	47	84.76	48.12
(34-2)	435.68	431.31	114.63	0.0381	81	47	261.6	106.04
(35-1)	435.61	431.38	114.09	0.0371	82	35	258.14	45.54
(36-1)	431.86	431.38	65.88	0.0073	83	36	114.51	34.58
(37-1)	430.91	428.86	87.11	0.0235	84	37	205.45	42.54
(37-2)	428.86	425.73	107.43	0.0291	84	37	228.62	95
(38-1)	430.91	429.18	106.78	0.0162	85	38	170.58	52.78
(38-2)	429.18	425.73	80.57	0.0428	85	38	277.27	92.61
(39-1)	431.56	430.98	66.36	0.0087	86	39	125.01	28
(39-2)	430.98	429.35	113.86	0.0143	86	39	160.27	76.05
(40-1)	428.15	428.06	69.91	0.004	87	46	84.76	31.15
(40-2)	428.06	426.63	134.26	0.0107	87	46	138.63	90.98
(41-1)	428.91	425.33	81.49	0.0439	89	40	280.81	41.1
(41-2)	425.33	424.19	116.01	0.0098	89	40	132.67	99.61
(42-1)	428.91	427.15	115.75	0.0152	88	41	165.23	52.68
(42-2)	427.15	424.19	72.5	0.0408	88	41	270.71	85.67
(43-1)	429.64	428.24	113	0.0124	90	43	149.24	48.53
(43-2)	428.24	427.56	67.95	0.01	90	43	134.02	77.72
(44-1)	429.64	429.27	65.26	0.0057	91	42	101.18	28.08
(44-2)	429.27	427.56	114.68	0.0149	91	42	163.59	77.43
(45-1)	428.06	426.67	135.09	0.0103	92	45	136.02	65.29
(45-2)	426.67	425.95	70.08	0.0103	92	45	136.02	99.16
(46-1)	428.06	427.49	69.94	0.0081	93	44	120.62	31.83
(46-2)	427.49	425.95	136.16	0.0113	93	44	142.47	93.79



TÍTULO:

APÊNDICE V

AUTOR:

Mateus Coelho

ASSUNTO:

DESENHO DO TRAÇADO DAS SARJETAS

ESCALA:

1/4000

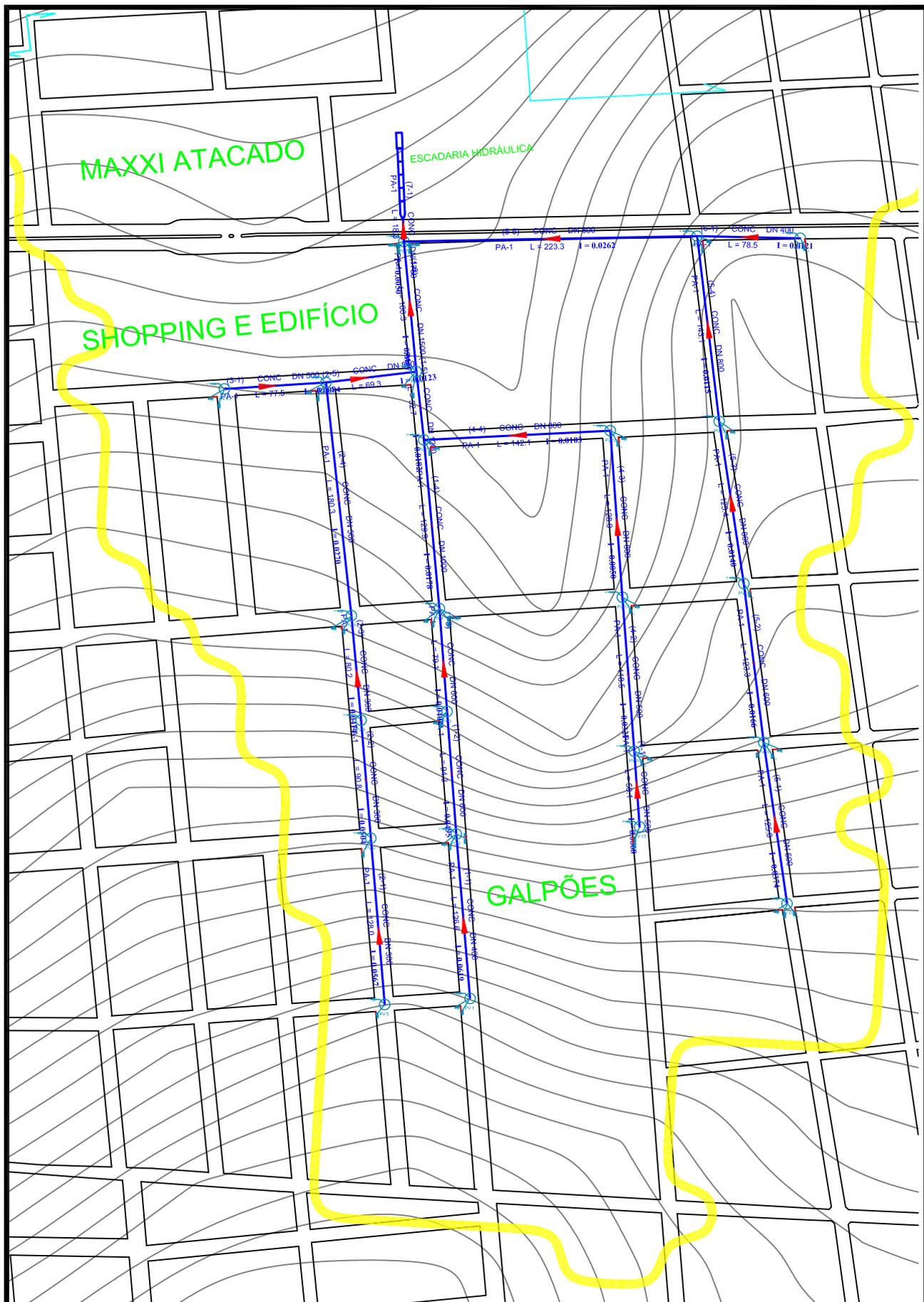
FOLHA:

01

DATA:

16/01/17

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI



TÍTULO:

APÊNDICE VI

AUTOR:

Mateus Coelho

ASSUNTO:

TRAÇADO DE REDE DIMENSIONADA

ESCALA:

1/4000

PÁGINA:

01

DATA:

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

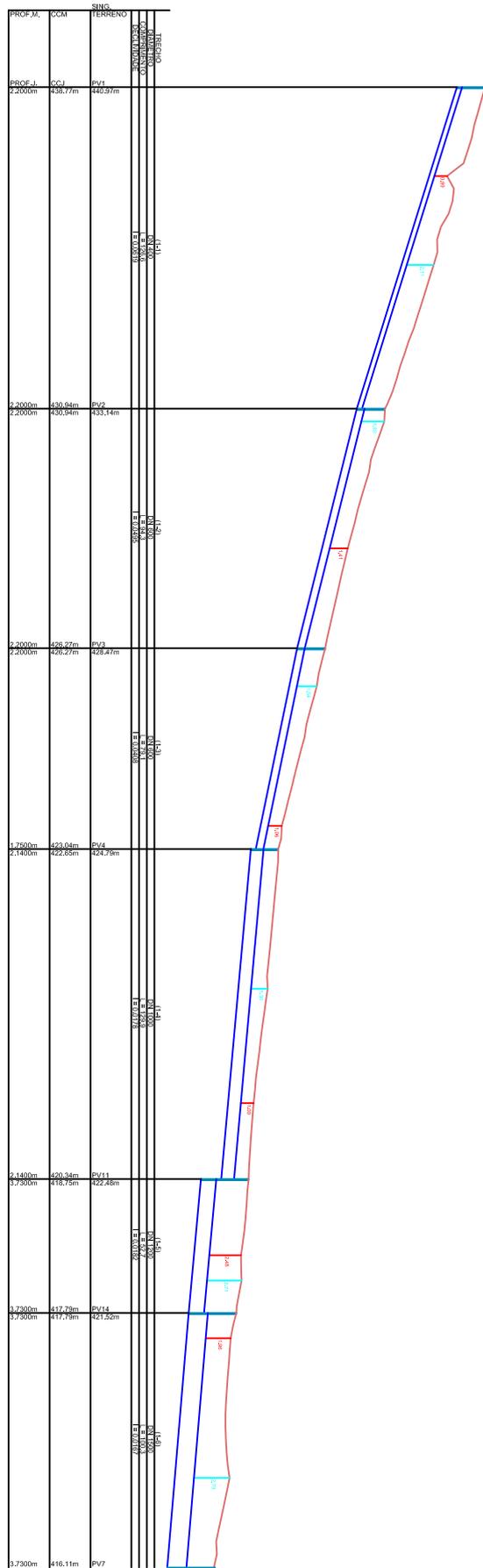
16/01/17

APÊNDICE VII – Planilha de dimensionamento de rede

Trecho	Mon.	Jus.	Comprim. (m)	CTM (m)	CTJ (m)	CCM (m)	CCJ (m)	Prof. Mon. (m)	Prof. Jus. (m)	DN (mm)	Declivi.(m/m)	Vazão(L/s)	Veloc. (m/s)	Lâmina (%)
(1-1)	PV1	PV2	126.60	440.97	433.14	438.77	430.94	2.2	2.2	400	0.0619	271.62	4.17	51
(1-2)	PV2	PV3	94.30	433.14	428.47	430.94	426.27	2.2	2.2	600	0.0495	936.71	5.00	61
(1-3)	PV3	PV4	79.10	428.47	424.79	426.27	423.04	2.2	1.75	600	0.0408	1124.41	4.97	75
(1-4)	PV4	PV11	129.90	424.79	422.48	422.65	420.34	2.14	2.14	1000	0.0178	1879.14	4.24	55
(1-5)	PV11	PV14	52.70	422.48	421.52	418.75	417.79	3.73	3.73	1200	0.0182	3413.87	4.96	59
(1-6)	PV14	PV7	100.30	421.52	419.84	417.79	416.11	3.73	3.73	1500	0.0167	4844.73	4.14	63
(2-1)	PV5	PV6	128.00	442.20	434.94	440.01	432.75	2.19	2.19	300	0.0567	112.19	2.39	63
(2-2)	PV6	PV9	90.80	434.94	430.36	432.75	428.17	2.19	2.19	300	0.0504	204.57	3.48	78
(2-3)	PV9	PV10	80.20	430.36	426.56	428.17	424.37	2.19	2.19	300	0.0474	202.46	3.39	79
(2-4)	PV10	PV12	180.30	426.56	421.69	424.37	419.50	2.19	2.19	500	0.0270	523.37	3.54	70
(2-5)	PV12	PV14	69.30	421.69	421.52	419.50	418.65	2.19	2.87	800	0.0123	1147.06	2.58	83
(3-1)	PV13	PV12	77.50	422.02	421.69	420.49	419.84	1.53	1.85	500	0.0084	289.74	1.63	85
(4-1)	PV15	PV16	58.10	432.87	428.99	431.32	427.44	1.55	1.55	500	0.0668	435.16	3.51	61
(4-2)	PV16	PV17	118.50	428.99	425.19	427.00	423.20	1.99	1.99	500	0.0321	611.90	3.90	75
(4-3)	PV17	PV18	128.00	425.19	423.94	422.73	422.09	2.46	1.85	800	0.0050	910.81	2.23	76
(4-4)	PV18	PV11	142.10	423.94	422.48	420.21	418.75	3.73	3.73	800	0.0103	1196.52	3.02	74
(5-1)	PV19	PV20	125.00	435.81	431.14	434.27	429.60	1.54	1.54	500	0.0374	424.99	3.48	63
(5-2)	PV20	PV21	123.30	431.14	429.09	428.74	426.69	2.4	2.4	600	0.0166	732.54	3.18	76
(5-3)	PV21	PV22	125.40	429.09	427.34	426.69	424.94	2.4	2.4	800	0.0140	840.59	2.75	59
(5-4)	PV22	PV25	143.10	427.34	425.69	424.94	423.29	2.4	2.4	800	0.0115	1060.57	3.24	62
(5-5)	PV25	PV7	223.30	425.69	419.84	422.09	416.24	3.6	3.6	800	0.0262	1413.81	4.55	59
(6-1)	PV24	PV25	78.50	426.64	425.69	425.24	424.29	1.4	1.4	400	0.0121	113.73	1.82	50
(7-1)	PV7	Fim	18.30	419.84	419.33	416.11	416.02	3.73	3.31	1750	0.0050	7380.23	3.67	78
1	BC4	PV2	11.50	433.75	433.14	432.45	431.84	1.3	1.3	300	0.0530	127.14	3.26	54
2	BC3	PV2	11.90	433.95	433.14	432.65	431.84	1.3	1.3	300	0.0681	126.02	3.57	50

3	BC5	PV2	8.50	433.30	433.14	431.80	431.64	1.5	1.5	500	0.0188	419.07	2.94	68
4	BC1	PV1	12.70	441.67	440.97	440.35	439.65	1.32	1.32	300	0.0551	140.55	3.38	57
5	BC2	PV1	11.50	441.47	440.97	440.15	439.65	1.32	1.32	300	0.0435	133.96	3.05	60
6	BC6	PV3	12.20	429.11	428.47	427.79	427.15	1.32	1.32	300	0.0525	97.96	3.04	47
7	BC7	PV3	11.50	429.06	428.47	427.73	427.14	1.33	1.33	300	0.0513	94.95	2.99	46
8	BC9	PV4	13.50	425.33	424.79	423.94	423.40	1.39	1.39	300	0.0400	87.63	2.67	47
9	BC8	PV4	13.80	425.38	424.79	424.01	423.42	1.37	1.37	300	0.0428	85.16	2.72	46
11	BC11	PV11	11.60	422.51	422.48	421.01	420.95	1.5	1.53	500	0.0052	184.26	1.53	59
12	BC12	PV11	11.40	422.38	422.48	420.88	420.82	1.5	1.66	500	0.0053	183.83	1.53	59
15	BC16	PV7	8.00	419.78	419.84	418.26	418.22	1.52	1.62	500	0.0050	222.05	1.64	65
16	BC15	PV7	7.60	419.93	419.84	418.47	418.38	1.46	1.46	400	0.0118	225.66	2.06	82
18	BC18	PV7	8.10	419.99	419.84	418.43	418.28	1.56	1.56	500	0.0185	346.74	2.81	60
19	BC23	PV13	12.40	422.29	422.02	420.99	420.72	1.3	1.3	300	0.0218	140.93	2.30	81
20	BC24	PV13	13.50	422.48	422.02	421.14	420.68	1.34	1.34	300	0.0341	150.47	2.83	70
21	BC25	PV12	14.40	421.89	421.69	420.49	420.29	1.4	1.4	400	0.0139	163.22	2.09	60
22	BC26	PV12	14.00	422.09	421.69	420.69	420.29	1.4	1.4	400	0.0286	175.86	2.80	50
23	BC22	PV10	15.90	427.06	426.56	425.76	425.26	1.3	1.3	300	0.0315	128.67	2.66	65
24	BC21	PV10	13.60	427.06	426.56	425.66	425.16	1.4	1.4	400	0.0368	205.50	3.11	56
26	BC19	PV5	10.50	442.55	442.20	441.02	440.67	1.53	1.53	300	0.0333	113.18	2.91	54
27	BC10	PV4	12.80	424.98	424.79	423.48	423.29	1.5	1.5	500	0.0148	292.80	2.48	58
28	BC13	PV14	14.00	421.85	421.52	420.40	420.07	1.45	1.45	400	0.0236	148.71	2.51	48
29	BC14	PV14	18.50	422.10	421.52	420.75	420.17	1.35	1.35	300	0.0314	138.72	2.70	68
30	BC27	PV15	13.30	433.32	432.87	431.77	431.32	1.55	1.55	500	0.0338	435.36	4.21	52
31	BC46	PV4	13.60	424.72	424.79	423.12	423.05	1.6	1.74	600	0.0051	299.01	1.70	60
32	BC30	PV17	12.70	425.88	425.19	424.58	423.89	1.3	1.3	300	0.0543	159.03	3.46	62
33	BC31	PV17	12.70	425.93	425.19	424.63	423.89	1.3	1.3	300	0.0583	153.76	3.53	59
36	BC35	PV19	9.70	436.03	435.81	434.63	434.41	1.4	1.4	400	0.0227	173.18	2.56	53
37	BC34	PV19	9.20	436.13	435.81	434.83	434.51	1.3	1.3	300	0.0348	176.02	2.91	80
38	BC36	PV19	10.10	436.04	435.81	434.74	434.51	1.3	1.3	300	0.0228	78.31	2.10	52

39	BC37	PV20	10.70	431.46	431.14	430.02	429.70	1.44	1.44	400	0.0299	169.00	2.70	56
42	BC40	PV21	10.60	429.43	429.09	428.13	427.79	1.3	1.3	300	0.0321	110.82	2.60	58
45	BC41	PV22	13.60	427.59	427.34	426.29	426.04	1.3	1.3	300	0.0184	110.06	2.08	70
46	BC42	PV22	12.40	427.73	427.34	426.43	426.04	1.3	1.3	300	0.0315	110.65	2.58	58
47	BC43	PV25	11.70	426.16	425.69	424.78	424.31	1.38	1.38	300	0.0402	124.17	2.91	58
48	BC44	PV25	9.50	426.17	425.69	424.83	424.35	1.34	1.34	300	0.0505	128.55	3.20	55
49	BC45	PV24	8.90	426.81	426.64	425.49	425.32	1.32	1.32	300	0.0191	114.18	2.12	71
51	BC32	PV18	12.20	424.19	423.94	422.79	422.54	1.4	1.4	400	0.0205	160.17	2.42	52
52	BC20	PV6	14.10	435.70	434.94	434.13	433.37	1.57	1.57	300	0.0539	95.21	2.21	61
53	BC17	PV7	7.60	420.03	419.84	418.50	418.31	1.53	1.53	500	0.0250	355.65	3.17	56
54	BC28	PV16	11.40	429.78	428.99	428.48	427.69	1.3	1.3	300	0.0693	105.50	3.39	51
55	BC29	PV16	12.80	429.66	428.99	428.36	427.69	1.3	1.3	300	0.0523	85.84	2.85	50
56	BC38	PV20	12.90	431.57	431.14	430.24	429.81	1.33	1.33	300	0.0333	85.78	2.48	50
57	BC39	PV20	13.00	431.39	431.14	430.06	429.81	1.33	1.33	300	0.0192	66.01	1.89	50
58	BC33	PV18	11.50	424.36	423.94	423.06	422.64	1.3	1.3	300	0.0365	140.62	2.88	65



TÍTULO:

APÊNDICE VIII

AUTOR:

Mateus Coelho

ASSUNTO:

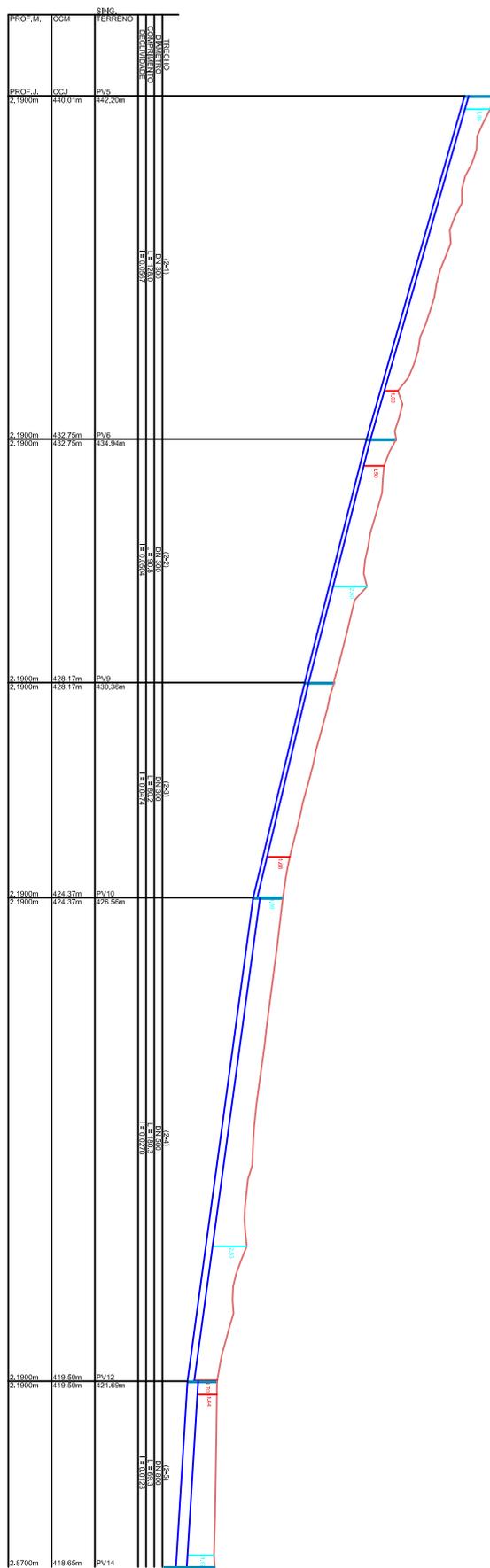
PERFIL DE REDE COLETORA (TRECHO 1)

SEM ESCALA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

DATA:

16/01/17



TÍTULO:

APÊNDICE IX

AUTOR:

Mateus Coelho

ASSUNTO:

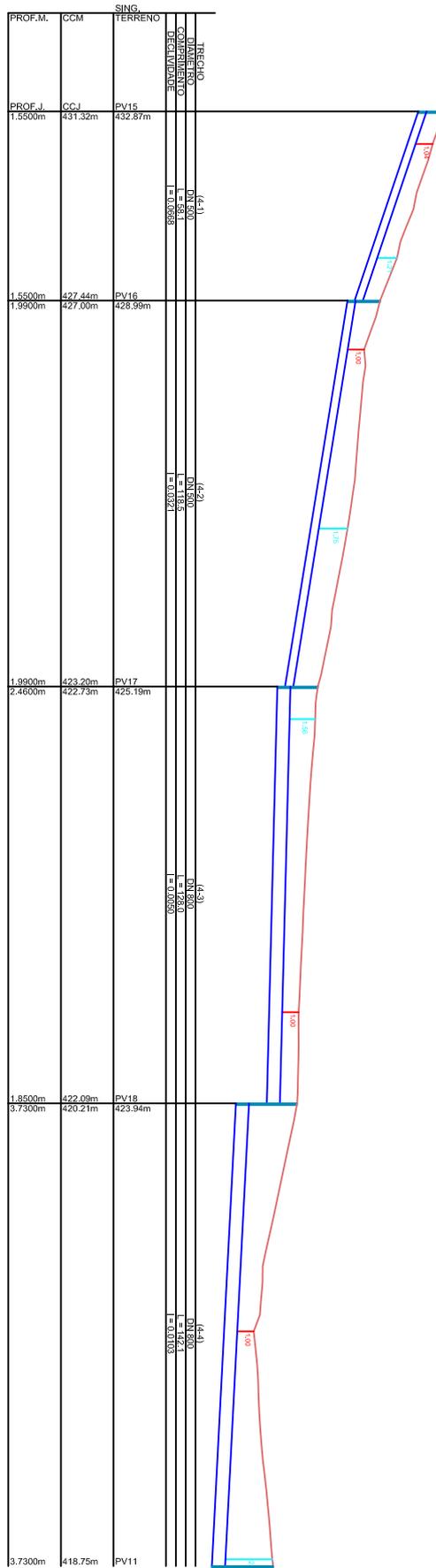
PERFIL DE REDE COLETORA (TRECHO 2)

SEM ESCALA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

DATA:

16/01/17



TÍTULO:

APÊNDICE XI

AUTOR:

Mateus Coelho

ASSUNTO:

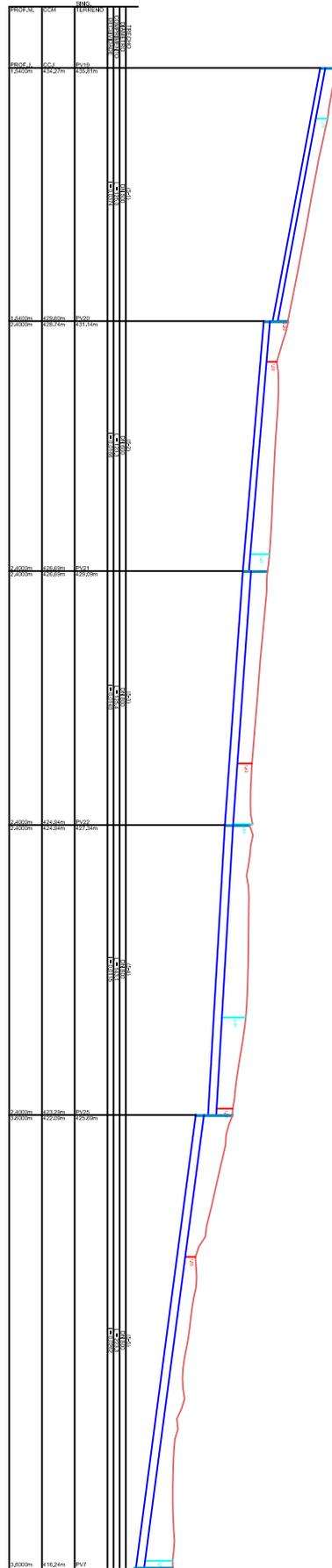
PERFIL DE REDE COLETORA (TRECHO 4)

SEM ESCALA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

DATA:

16/01/17



TÍTULO:

APÊNDICE XII

AUTOR:

Mateus Coelho

ASSUNTO:

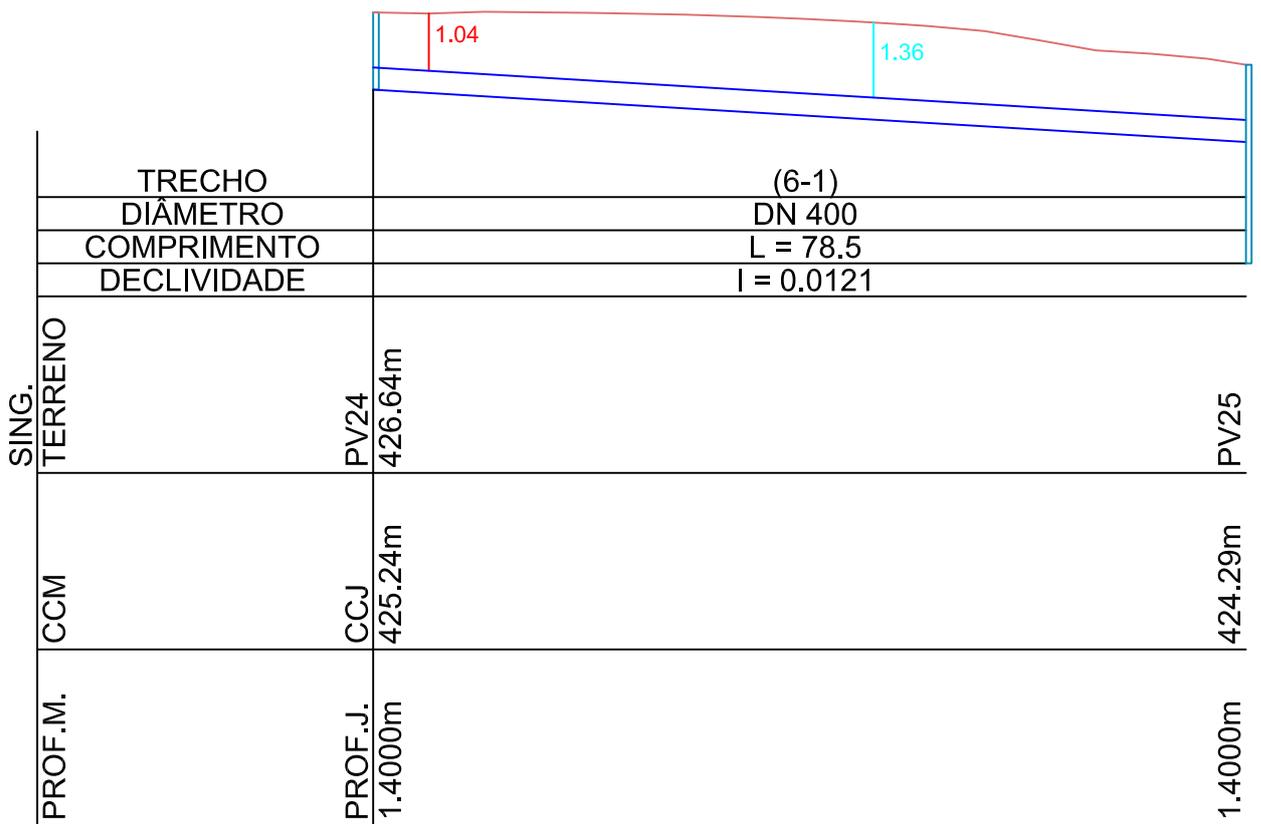
PERFIL DE REDE COLETORA (TRECHO 5)

SEM ESCALA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

DATA:

16/01/17



TÍTULO: APÊNDICE XIII

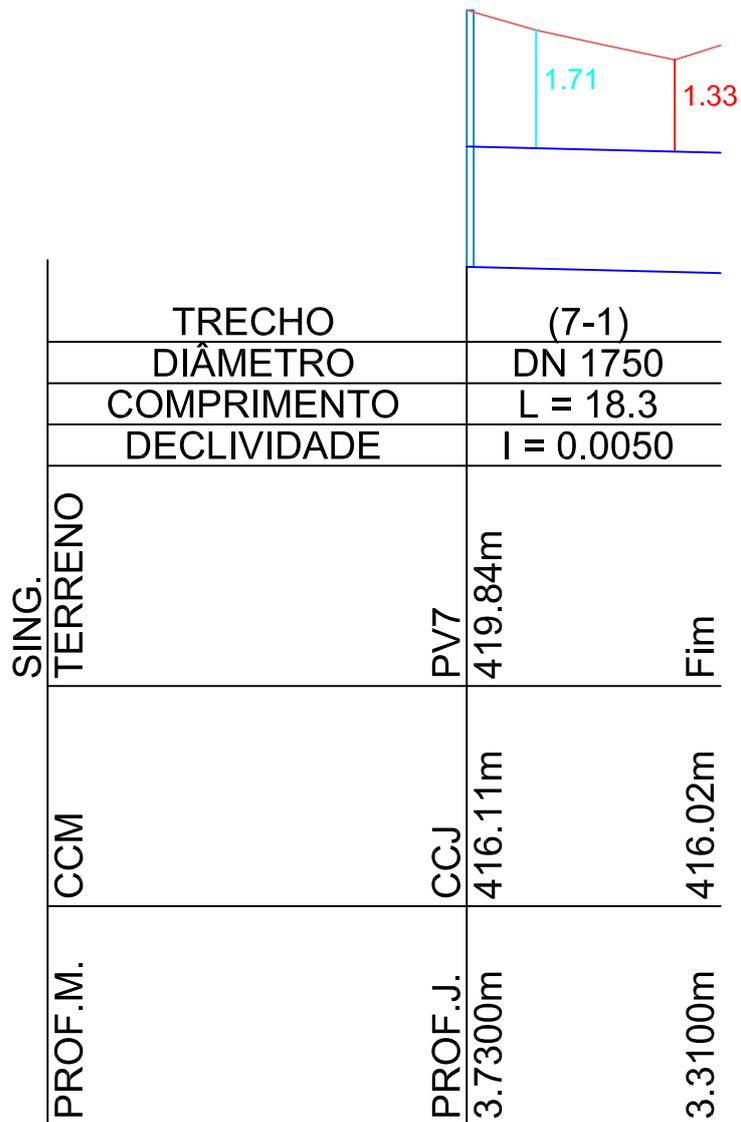
AUTOR: Mateus Coelho

ASSUNTO: PERFIL DE REDE COLETORA (TRECHO 6)

SEM ESCALA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

DATA: 16/01/17



TÍTULO: APÊNDICE XIV

AUTOR: Mateus Coelho

ASSUNTO: PERFIL DE REDE COLETORA (TRECHO 7)

SEM ESCALA

APÊNDICE XV – Quantitativo de rede.

SERVIÇOS	Unidade	Quantidade
LOCAÇÃO		
Locação e nivelamento	m	3040.2
TRÂNSITO, SEGURANÇA E TRAVESSIA		
Passadiços com pranchas em madeira	m ²	152.01
Sinalização noturna de trânsito com barreiras	m	1520.1
Sinalização em tapume com sentido de fluxo	m	152.01
Sinalização de advertência	un.	10
MOVIMENTO DE TERRA		
Escavação em solo arenoso com profundidade até 2 metros	m ³	1577.26
Escavação em solo arenoso com profundidade de 2 a 4 metros	m ³	3452.74
Escavação para construção do reservatório	m ³	0
Reaterro de vala	m ³	3907.2
Bota-fora	m ³	1122.8
Berço de brita/concreto	m ³	24.37
Aterro	m ³	6.64
ESCORAMENTO		
Escoramento de valas com profundidade até 2 metros	m ²	3401.55
Escoramento de valas com profundidade de 2 a 4 metros	m ²	9605.2
SINGULARIDADES		
Poços de visita até 2 metros	un.	5
Poços de visita de 2 a 4 metros	un.	18
Caixas boca coletora	un.	46
ASSENTAMENTO DE TUBOS		
Assentamento de tubos em concreto DN 300 mm	m	655.5
Assentamento de tubos em concreto DN 500 mm	m	640.7
Assentamento de tubos em concreto DN 400 mm	m	301.3
Assentamento de tubos em concreto DN 600 mm	m	310.3
Assentamento de tubos em concreto DN 1750 mm	m	18.3
Assentamento de tubos em concreto DN 800 mm	m	831.2
Assentamento de tubos em concreto DN 1500 mm	m	100.3
Assentamento de tubos em concreto DN 1200 mm	m	52.7
Assentamento de tubos em concreto DN 1000 mm	m	129.9
CADASTRO		
Cadastro de rede de drenagem (MEIO MAGNÉTICO)	m	3040.2
MATERIAL - DRENAGEM URBANA		
Tubos de concreto PA-2 DN 300 mm	m	374.33
Tubos de concreto PA-2 DN 500 mm	m	85.37

Tubos de concreto PA-2 DN 400 mm	m	101.01
Tubos de concreto PA-2 DN 600 mm	m	14.28
Tubos de concreto PA-1 DN 1750 mm	m	19.22
Tubos de concreto PA-1 DN 800 mm	m	872.76
Tubos de concreto PA-1 DN 400 mm	m	215.36
Tubos de concreto PA-1 DN 600 mm	m	311.54
Tubos de concreto PA-1 DN 500 mm	m	587.37
Tubos de concreto PA-1 DN 1500 mm	m	105.32
Tubos de concreto PA-1 DN 1200 mm	m	55.34
Tubos de concreto PA-1 DN 300 mm	m	313.95
Tubos de concreto PA-1 DN 1000 mm	m	136.4