

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
BRUNO GONÇALVES SILVEIRA

**USO DO SOFTWARE CDREN® PARA DIMENSIONAMENTO DE REDES DE
MICRODRENAGEM PLUVIAL**

FORMIGA – MG

2017

BRUNO GONÇALVES SILVEIRA

USO DO SOFTWARE CDREN[®] PARA DIMENSIONAMENTO DE REDES DE
MICRODRENAGEM PLUVIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do Unifor-MG, como pré-
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

FORMIGA-MG

2017

S587 Silveira, Bruno Gonçalves.

Uso do software CDREN® para dimensionamento de redes de
microdrenagem pluvial / Bruno Gonçalves Silveira. – 2017.

58 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.

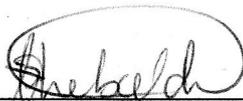
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-
Centro

Bruno Gonçalves Silveira

USO DO SOFTWARE CDREN[®] PARA DIMENSIONAMENTO DE REDES DE
MICRODRENAGEM PLUVIAL

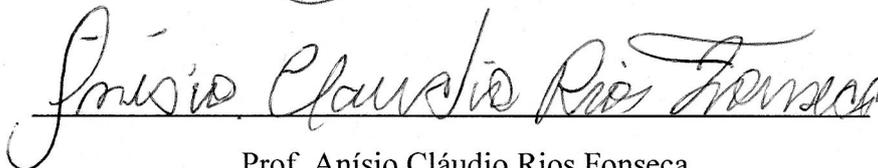
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do Unifor-MG, como
pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Banca Examinadora



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador



Prof. Anísio Cláudio Rios Fonseca

UNIFOR - MG



Prof. Dr. Ronan Souza Sales

UNIFOR - MG

Formiga, 31 de outubro de 2017.

DEDICATÓRIA

Ao meu professor e orientador, Dr. Michael Silveira Thebaldi, por todo conhecimento partilhado e tamanha presteza e amizade durante a realização do trabalho.

Aos meus irmãos da “Al Qaeda” que a vida me permitiu escolher: Rocha, Ferpa, Paulo e Miguel.

RESUMO

O ciclo hidrológico representa um acontecimento natural de maior importância no planeta, afinal, ele é responsável por fazer com suas alternâncias, com que a água transite pela terra em seus variados estados físicos. Atualmente, a urbanização, que ocupa as áreas naturais de maneira progressiva, afeta diretamente este fenômeno, transformando a intensidade e consequências das ocorrências do mesmo. Atualmente, o avanço da tecnologia, faz com que a Engenharia, tachada como conservadora nesse âmbito, esteja passando por uma mudança proativa e apresente maneiras eficazes na resolução de diversos problemas apresentados, inclusive na área de drenagem pluvial, o que é mostrado com o CDren® na pesquisa. Assim, este trabalho teve como objetivo comparar o dimensionamento da rede de microdrenagem de águas pluviais de um loteamento modelo no município de Formiga – MG, ao considerar o mesmo com topografia plana e inclinada, realizando o dimensionamento por meio do software CDren® e utilizando de procedimentos manuais. Os cálculos manuais foram fundamentados na literatura técnica específica, sendo definidos parâmetros hidrológicos, para enfim se obter os corretos dimensionamentos da rede de microdrenagem, assim como nos cálculos realizados no software que necessita de dados hidrológicos para se obter os resultados, possibilitando assim a comparação entre os casos. Os resultados mostram que o software comporta de maneira harmônica a literatura, apresentando resultados próximos aos resultados derivados dos procedimentos manuais, e proporcionando as soluções da microdrenagem pluvial para as situações propostas.

Palavras – chave: Hidrologia urbana. Drenagem. Escoamento superficial.

Lista de Figuras

Figura 1 – Ciclo hidrológico	14
Figura 2 – Disposição das galerias em redes de drenagem urbana	22
Figura 3 - Seção trapezoidal escavada com taludes gramados	25
Figura 4 - Loteamento plano	29
Figura 5 - Loteamento Inclinado.....	30
Figura 6 - Divisão das bacias de contribuição	32
Figura 7 - Guia para entrada de dados para cálculo das galerias no software CDren®.....	38
Figura 8 - Guia para entrada de dados das ruas do loteamento no software CDren®	39
Figura 9 - Guia para entrada de informações para o cálculo das sarjetas no software CDren®	39
Figura 10 - Guia para entrada de dados pluviométricos no software CDren®.....	40
Figura 11 - Guia para entrada de dados estruturais no software CDren®	41
Figura 12 - Guia para entrada de dados para o cálculo das bocas de lobo no software CDren®	41
Figura 13 - Guia dos critérios de cálculo, no software CDren®.....	42
Figura 14 - Representação gráfica da rede de microdrenagem do loteamento com topografia íngreme dimensionada a partir de procedimentos manuais	50
Figura 15 - Representação gráfica da rede de microdrenagem do loteamento com topografia plana dimensionada a partir de procedimentos manuais.....	51
Figura 16 - Representação gráfica da rede de microdrenagem do loteamento com topografia íngreme dimensionada a partir do uso do software CDren®.....	52
Figura 17 - Representação gráfica da rede de microdrenagem do loteamento com topografia plana dimensionada a partir do uso do software CDren®	53

Lista de Tabelas e Quadros

Tabela 1 - Porcentagem de municípios com ruas pavimentadas no perímetro urbano, por percentual de ruas dotadas com sistema de drenagem subterrânea	19
Tabela 2 - Coeficientes de deflúvio específicos variantes para cada superfície e tempos de retorno da precipitação considerada.....	35
Tabela 3 - Fator de redução em função da declividade.....	37
Quadro 1 - Atividade humana e seus impactos sobre a disponibilidade hídrica.....	16
Quadro 2 - Espaços e seus respectivos gestores	18

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABTC – Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto

ANA – Agência Nacional das Águas

CAD - Computer Aided Design

CREA – Conselho regional de Engenharia e Agronomia

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DXF - Drawing Interchange File

FCTH - Fundação Centro Tecnológica de Hidráulica

FIG – Figura

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PV – Poço de Visita

SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção

TAB – Tabela

TI – Tecnologia da Informação

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 CICLO HIDROLÓGICO.....	14
3.1 Ciclo hidrológico.....	14
3.2 Hidrologia urbana	15
3.3 Gestão da água da chuva no meio urbano.....	17
3.4 Sistemas de drenagem pluvial e estruturas constituintes	19
3.4.1 Microdrenagem	20
3.4.2 Macrodrenagem	23
3.4.3 Parâmetros hidrológicos envolvidos no projeto de drenagem urbana	25
3.5 Uso de softwares em engenharia civil.....	27
3.5.1 CDren®.....	27
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1 Dimensionamento manual.....	31
4.1.1 Estudos Hidrológicos	31
4.1.1.1 Equação de chuvas intensas	31
4.1.1.2 Bacias de contribuição.....	32
4.1.1.3 Tempo de concentração.....	33
4.1.1.4 Vazão das bacias de contribuição.....	33
4.1.1.5 Coeficiente de deflúvio	34
4.1.2 Dimensionamento hidráulico	36
4.1.2.1 Capacidade de escoamento das sarjetas	36
4.1.2.2 Capacidade das bocas coletoras	36
4.1.2.3 Poços de visita.....	37

4.1.2.4	Diâmetro das galerias	37
4.2	Cálculo computacional – CDren®	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
6	CONCLUSÃO.....	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Um dos fenômenos globais com mais importância no planeta, é o ciclo hidrológico, que tem a capacidade fazer com que a água circule pela terra em seus diferentes estados físicos e com suas transformações.

Fomentado sobretudo pela energia solar junto a rotação e translação da terra, o ciclo hidrológico faz com que a água transite naturalmente pelas diferentes superfícies terrestres, pelo subsolo e pela atmosfera. A urbanização, situação crescente, influencia de maneira direta nesse processo, alterando a magnitude e distribuição de seus componentes.

De frente a esse cenário, soluções na engenharia para regular e aproveitar os progressos elementares sequencialmente naturais são de suma importância. Dentre essas soluções, está a drenagem pluvial que faz por coletar as águas pluviais a fim de evitar transtornos, e possíveis catástrofes como inundações e enchentes.

O correto dimensionamento de um sistema de drenagem pluvial é dependente de vários fatores, como: índices pluviométricos locais, tempo de concentração nas bacias hidrográficas consideradas, uso e ocupação do solo, além da topografia do terreno, fatores esses que, na maioria das vezes, são padronizados para qualquer que seja a situação proposta para uma elaboração e dimensionamento de microdrenagem.

O uso de softwares para dimensionamento da microdrenagem urbana é um exemplo para esse tipo de situação. Muitas vezes existem circunstâncias em que uma análise mais profunda do que é oferecido para solucionar, podem nos proporcionar uma resposta mais concisa e pragmática para o problema, considerando parâmetros peculiares para cada situação proposta, não fazendo de maneira generalizada como muitas das vezes, seja em software ou cálculo manual.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo testar a funcionalidade do software CDren® no dimensionamento da microdrenagem de um pequeno loteamento, uma vez que o mesmo faz considerações generalizadas, diferente do cálculo manual.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Comparar o dimensionamento da rede de microdrenagem de águas pluviais de um loteamento modelo no município de Formiga – MG, ao considerar o mesmo com topografia plana e inclinada, realizando o dimensionado por meio do software CDren® e utilizando de procedimentos manuais.

2.2 Objetivos específicos

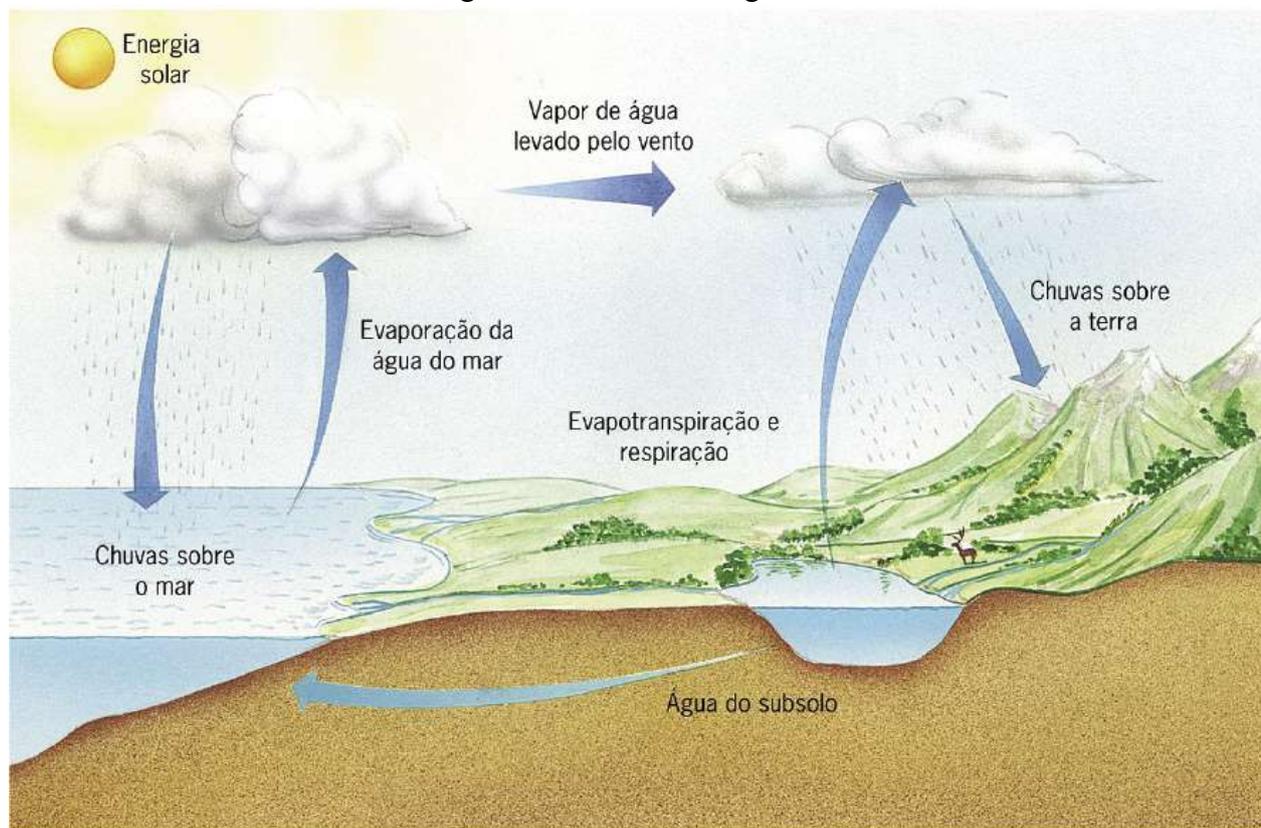
- Determinar as bacias de contribuição do loteamento e sentidos de escoamento, para ambas as conformações topográficas consideradas;
- Determinar os parâmetros hidrológicos de projeto necessários para dimensionamento da microdrenagem, levando em consideração a área a ser estudada e o local da implantação do loteamento;
- Realizar o dimensionamento da microdrenagem local com o software CDren®; e
- Comparar os resultados obtidos com o software com os determinados manualmente, ao utilizar os parâmetros de projetos mais apropriados segundo a literatura técnica-científica.

3 CICLO HIDROLÓGICO

3.1 Ciclo hidrológico

Segundo Tucci (1993), para estudar recursos hídricos, deve ter conhecimento a respeito do ciclo hidrológico, representado graficamente na FIG. 1, seus elementos e o vínculo entre eles. De acordo com Silveira (2005), o ciclo hidrológico é o acontecimento global de transformação da água em meio à superfície terrestre e a atmosfera, implicado essencialmente pela energia solar inerente a rotação e gravidade da Terra.

Figura 1 – Ciclo hidrológico



Fonte: Culturamix (2014).

Para um melhor discernimento sobre o ciclo hidrológico, Villela e Mattos (1975) apud Sagara (2001, p. 6) o idealizaram com seu início na evaporação da água presente nos oceanos. O vapor derivado dessa evaporação levado pelo deslocamento dos grandes volumes de ar, assim, quando condensado, acarreta na formação de nuvens que podem vir a ocasionar precipitações. Das precipitações que ocorrem sobre a superfície terrestre, uma parte permanece momentaneamente conservada na superfície do solo e volta para a atmosfera pela evapotranspiração das plantas e evaporação das superfícies molhadas. Já outra parte, escorre

pela superfície do solo, ou vai para os rios e enfim o a última parte penetra o solo de maneira profunda, compondo a água subterrânea.

De acordo com Carvalho, Mello e Silva (2007), a quantia de água, bem como a velocidade com que a mesma transita em cada fase do ciclo hidrológico são determinadas por fatores variados, com: altitude, topografia, temperatura local, tipo de solo, entre outros.

Segundo os mesmos autores, mesmo com essa síntese sobre o ciclo hidrológico, o mesmo faz – se um recurso cabível para ilustrar os fenômenos hidrológicos, auxiliando também nas fases relevantes de principal interesse do profissional da engenharia: precipitação; evaporação/transpiração; escoamento superficial; e escoamento subterrâneo. Apesar de o ciclo parecer ilustrar um processo consecutivo, na prática bem distante disso, afinal a circulação da água feita de uma maneira variada de acordo com cada fase, modificando tanto no tempo, como no espaço.

Em certas situações, pode parecer que a natureza trabalha de maneira exacerbada, provocando chuvas extremamente fortes que extrapolam o volume suportado nos cursos d'água acarretando em inundações. Nestes casos, supõem-se que toda a funcionalidade do ciclo hidrológico cessou por completo, acontecendo apenas a precipitação e o escoamento superficial, dando descontinuidade a cadeia dos quatro elementos. Então, neste tipo de situação há necessidade da intervenção antrópica por meio de técnicas de engenharia, afinal, a maioria dos projetos de drenagem, são feitos com o objetivo de conter esse tipo de situação extrema (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

Para Maia (2007) há um breve equívoco teórico na definição do seguinte fenômeno hidrológico: inundação. Existe uma distinção entre na comparação entre enchente e inundação. Enchente se relaciona as águas que transbordam o menor leito dos rios, já a inundação se trata de um fenômeno geomorfológico que acontece no estágio de cheia, onde o nível da água atinge uma magnitude superior a suportada pelo canal, inundando a região.

3.2 Hidrologia urbana

O homem cada vez mais modifica o ambiente em que vive, de maneira a adaptá-lo melhor de acordo com suas exigências, o que implica em pequenas mudanças no ciclo hidrológico. Como modelo, pode-se mencionar o barramento dos rios, que altera o escoamento do mesmo, aumenta a evaporação e amplia o nível dos lençóis freáticos. Outro exemplo é o desmatamento que deixa o solo livre ao influxo das gotas de chuva e do escoamento superficial, que o erodem e carregam nutrientes e sedimentos para os leitos dos rios e lagos. Mais um

problema a ser citado, é a impermeabilização das ruas devido ao crescimento do meio urbano, o que diminui a fração de água que seria infiltrada e aumenta o escoamento superficial, implicando as cheias (PAZ, 2004).

De acordo com Tundisi (2000), citado por Paz (2004, p. 12), como se não bastasse a influência nas fases do ciclo hidrológico, a interferência antrópica ainda gera uma série de consequências no meio ambiente, como: contaminação de corpos d'água, inclusão de espécies exóticas, mudanças globais no clima, desmatamento, chuvas ácidas, entre outros, como pode ser visualizado no QUADRO 1.

Quadro 1 - Atividade humana e seus impactos sobre a disponibilidade hídrica

Atividade Humana	Impacto nos ecossistemas aquáticos	Valores/ serviços em risco
Construção de represas	Alteração do fluxo dos rios, transporte de nutrientes e sedimentos, interferência na migração e reprodução de peixes	Habitats, pesca comercial e esportiva, deltas e suas economias
Construção de diques e canais	Destruição da conexão do rio com as áreas inundáveis	Fertilidade natural das várzeas e controles das enchentes
Construção de diques e canais	Destruição da conexão do rio com as áreas inundáveis	Fertilidade natural das várzeas e controles das enchentes
Alteração do canal natural dos rios	Danos ecológicos dos rios. Modificação dos fluxos dos rios	Habitats, pesca comercial e esportiva. Produção de hidroeletricidade e transporte.
Drenagem de áreas alagadas	Eliminação de um componente fundamental dos ecossistemas aquáticos	Biodiversidade. Funções naturais de filtragem e reciclagem de nutrientes. Habitats para peixes e aves aquáticas.
Desmatamento/uso do solo	Mudança de padrões de drenagem, inibição da recarga natural dos aquíferos, aumento da sedimentação	Qualidade e quantidade da água, pesca comercial, biodiversidade e controle de enchentes.
Poluição não controlada	Prejuízo da qualidade da água	Suprimento de água. Custos de tratamento. Pesca comercial. Biodiversidade. Saúde humana.
Remoção excessiva de biomassa	Diminuição dos recursos vivos e da biodiversidade	Pesca comercial e esportiva. Ciclos naturais dos organismos.

Quadro 1, continuação - Atividade humana e seus impactos sobre a disponibilidade hídrica.

Introdução de espécies exóticas	Supressão das espécies nativas. Alteração dos ciclos de nutrientes e ciclos biológicos	Habitats, pesca comercial. Biodiversidade natural e estoques genéticos.
Poluentes do ar (chuva ácida)	Perturbação da composição química de rios e lagos	Pesca comercial. Biota aquática. Recreação. Saúde humana. Agricultura
Mudanças globais no clima	Alteração drástica do volume dos recursos hídricos, dos padrões de distribuição da precipitação e evaporação, riscos de enchente	Suprimento de água, transporte, produção de energia elétrica, produção agrícola, pesca.
Crescimento da população e padrões gerais do consumo humano	Aumento na pressão para construção de hidroelétricas, da poluição da água, da acidificação de lagos e rios. Modificação do ciclo hidrológico.	Praticamente todas as atividades econômicas que dependem dos serviços dos ecossistemas aquáticos.

Fonte: Adaptado de Tundisi (2000)

As inundações nos centros urbanos são um problema tão antigo quanto a população urbana, acontecendo na maioria das vezes quando as águas dos leitos naturais ou da estrutura de drenagem de águas pluviais transbordam, ou seja, ultrapassam os limites suportados pelos mesmos e passam a inundar áreas urbanas, como calçadas, arruamentos, habitações, entre outros. A periculosidade da cheia depende de alguns fatores, como características climáticas e fisiográficas locais, nível de ocupação da população, entre outros (LIMA, 2010).

Ainda de acordo com Lima, recentemente há um aumento da ocorrência de fortes chuvas que se desdobraram em enchentes de grande magnitude. Pesquisas de padrões de mudanças climáticas esboçam um aumento na constância e na potência destes acontecimentos, podendo trazer problemas e danos significativos às aglomerações atingidas. As mudanças significativas implicam em impactos no ciclo urbano da água, como quantidade e intensidade de águas nas chuvas, nos escoamentos e nas infiltrações, logo, toda essa água demanda um planejamento dos sistemas de drenagem urbana.

3.3 Gestão da água da chuva no meio urbano

A captação e a conservação de águas pluviais para fins domésticos, irrigação, criações diversas e entre outros usos, é uma prática ancestral que tem tido um progresso na sua aplicação em vários lugares no mundo, sendo aumento da população em adição ao uso inadequado da

água, fator importante na deterioração desse recurso. Assim, métodos que vislumbram o uso inteligente da água estão sendo gradativamente mais utilizados, assim como os sistemas de tratamento das águas pluviais (MAY, 2004, apud MINIKOWISKY e MAIA, p. 182, 2009).

A variedade de climas, relevos, condições socioeconômicas e culturais presentes no Brasil indica que o controle da água pluvial é uma atividade complicada, sendo um dos principais obstáculos a conservação da água em biosistemas com propriedades ambientais até contribuir no rompimento da pobreza que estão submetidas às populações do semi-árido brasileiro, corrigindo os problemas da poluição e das enchentes no meio urbano (Agência Nacional de Águas – ANA, 2002).

Tucci (2008) cita que o controle das atividades no perímetro urbano brasileiro pode ser estabelecido de acordo com o vínculo dependente da água por intermédio da bacia hidrográfica ou da influência administrativa municipal, do Estado ou nação. Assim, a gestão dos recursos hídricos possui um rumo produzido pela bacia hidrográfica, todavia a gestão da utilização do solo é elaborada por um município ou uma associação de municípios. A gestão é feita de acordo com a determinação da área interna e externa do município. Neste sentido, a gestão do perímetro interno do município aborda atitudes para servir os condicionantes externos presumidos no Plano de Manejo da Bacia Hidrográfica, a fim de impedir qualquer consequência ou impacto. Esses condicionantes normalmente procuram diminuir os impactos e melhorar a qualidade da água no composto da bacia, mais que condicionantes internos que agem na prevenção dos impactos aos habitantes da localidade. Há gestores para essas duas áreas, sendo os equipamentos usados e os objetivos da gestão estão expostos na QUADRO 2.

Quadro 2 - Espaços e seus respectivos gestores

Espaço	Domínio	Gestores	Instrumento	Característica
Bacia Hidrográfica	Estado ou governo federal	Comitê e agências	Plano de bacia	Gestão da quantidade e qualidade da água nos rios da bacia hidrográfica, sem transferir impactos
Município	Município ou Região Metropolitana	Município	Plano Diretor Urbano e Plano Integrado de Esgotamento, Drenagem Urbana e Resíduo Sólido	Minimizar os impactos dentro da cidade, nas pequenas bacias urbanas e não transferir para o sistema de rios.

Fonte: Adaptado de Tucci (2008)

Ainda de acordo com Tucci (2012), a composição da atividade administrativa das águas urbanas se dá por:

- Planejamento urbano: define as permissões para o uso do solo nas cidades, baseando – se na capacidade da sua infraestrutura;
- Serviços de saneamento: serviços de abastecimento de água, esgoto sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana;
- Metas dos serviços: preservação do meio ambiente urbano vislumbrando qualidade de vida, onde estão previstas a redução / prevenção das cheias e extirpação de doenças de procedência hídrica;
- Institucional: estrutura-se na gestão de serviços, legislação, capacitação e controle de forma geral.

Em um município, quando o sistema de drenagem pluvial é inexistente ou ineficiente, isso pode acarretar um prejuízo notável, podendo desencadear entupimento de condutos, leitos e riachos urbanos podendo interferir até mesmo no sistema de esgotamento sanitário (TUCCI, 2012).

3.4 Sistemas de drenagem pluvial e estruturas constituintes

Um sistema de drenagem pluvial é projetado de forma a haver uma racional condução e, em alguns casos, utilização das águas pluviais, diminuindo os riscos de enchentes e proporcionando o desenvolvimento urbano de forma coerente e sustentável (CREA-MG, 2013).

Segundo o IBGE (2008), no Brasil, 61,2% dos municípios possuem entre 75 a 100% de ruas dotadas de sistema de drenagem, como mostrado na TAB. 1.

Tabela 1 - Porcentagem de municípios com ruas pavimentadas no perímetro urbano, por percentual de ruas dotadas com sistema de drenagem subterrânea

Grandes Regiões	Distribuição dos municípios com ruas pavimentadas no perímetro urbano, por percentual de ruas dotadas com sistema de drenagem subterrânea (%)			
	Até 25%	25 a 50%	50 a 75%	75 a 100%
Brasil	8,6	13,7	16,4	61,2
Norte	19,6	20,6	15,4	44,4
Nordeste	4,6	12,3	16,7	66,1
Sudeste	11,0	15,3	14,4	59,3
Sul	21,1	15,8	12,3	50,9
Centro-Oeste	4,3	5,4	21,5	68,8

Fonte: IBGE (2008)

Segundo Santos Júnior (2013), o esquema de drenagem pluvial é formado por componentes de microdrenagem e de macrodrenagem. A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em um loteamento ou de rede primária urbana. Este sistema de drenagem é feito com a finalidade de conduzir as águas pluviais proveniente de precipitações com risco moderado.

Já a macrodrenagem engloba os sistemas de coleta dos sistemas de microdrenagem. Quando se trata de sistema de macrodrenagem, as áreas a serem consideradas são de pelo menos 2 km² ou 200 ha, porém, estes valores não devem ser padronizados, afinal a malha urbana pode assumir variadas disposições físicas. Um sistema de macrodrenagem deve ser projetado com maior aptidão que o sistema de macrodrenagem, em função dos riscos envolvidos, sejam prejuízos humanos ou materiais (PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA, PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

As obras de macrodrenagem são aquelas relacionadas aos cursos d'água, composta não apenas pelo dimensionamento de canais ou galerias, peculiaridades e construções afins da dissipação de energia derivada da água, mas também são obras de detenção ou retenção do escoamento superficial (DIRETRIZES BÁSICAS PARA PROJETOS DE DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 1999).

3.4.1 Microdrenagem

A microdrenagem é o esquema de coleta das águas pluviais ligado com o arruamento local, composta pelas sarjetas, bocas coletoras, poços de visitas e entre outros elementos, tudo em função da condução das águas pluviais para a macrodrenagem (CREA, 2013).

Dentre os elementos constituintes do sistema de microdrenagem, seguem os principais, necessários a um eficiente projeto de drenagem pluvial (BOTELHO, 1998; AZEVEDO NETTO, 1998; FARIAS, 2008 et. al. Apud SANTOS JÚNIOR, 2013, p.3987-3988):

- Guias: possui o papel de extremar a calçada e as faixa de trânsito de veículos (seja ela rua, avenida ou rodovia), são feitas de concreto simples, na maioria das vezes pré-moldado, e chamadas popularmente de meio-fio;
- Sarjetas: são aplicadas no assentamento das guias (meio-fio) formando o pequeno canal por onde a água irá correr, levando-a para os pontos de coleta. Podem ser feitas de concreto simples, paralelepípedos, argamassa, entre outros;

- Sarjetões: vala extensa suavemente triangular situada entre o meio-fio e as faixas de trânsito, podendo interligar sarjetas ou conduzir o escoamento da água para os pontos de coletas;
- Bocas de lobo/bocas coletoras: são elementos que coletam as águas pluviais que escoam nas sarjetas estando situados nas mesmas. É o dispositivo mais utilizado na captação. Trata-se do rebaixamento das sarjetas, com fechamento em concreto armado, podendo ser ligadas em séries entre si formando, bocas coletoras duplas ou triplas;
- Caixas com grelhas ou ralos: são aplicadas nas coletas verticais das águas pluviais, necessitando estar locadas em lugares planos, isto é, na falta da declividade transversal no arruamento;
- Bocas contínuas de captação: são usadas quando existe um corpo hídrico de coleta próximo, como por exemplo, avenidas situadas nas margens de rios. Tem como vantagem a coleta ser mais confiável quando comparado com as bocas coletoras por serem a prova de entupimento, justamente pelo seu comprimento. Já como desvantagem há o fato de possuírem um alto custo na sua execução;
- Canaletas de topo e pé de talude: as canaletas são instaladas com a função de obstruir e conduzir as águas pluviais, visando garantir a segurança do pé e topo de taludes. Quando as águas pluviais nesse tipo de situação são interrompidas, evita-se a erosão da superfície do talude. Pela velocidade exagerada das águas, sugere-se estar revestida por vegetação ou massa asfáltica;
- Galerias de condução de águas pluviais: toda água captada pelos dispositivos de coleta (bocas de lobo, caixas ou grelhas) são encaminhadas para um tubo de ligação que está conectado a uma canalização principal, que são as galerias;
- Poços de visitas: são elementos em concreto armado que permitem visitas para manutenção da rede de drenagem, ligando galerias umas nas outras. Na maioria das vezes situam-se nos cruzamentos das ruas;
- Rampas e escadarias hidráulicas: são condutos com extensões menores usados para conduzir águas de um ponto alto para um ponto baixo, dissipando a carga hidráulica, adequando a velocidade da água de acordo com o projeto. Em rampas, a declividade é constante, já nas escadarias, por causa dos degraus, a água desce de maneira descontínua;
- Dispositivo de chegada de águas pluviais nos córregos ou rios: diminui o risco de erosões ou de demais problemas no corpo hídrico receptor. São usadas pedras ou

concreto para que o despejo de água pluvial nos rios ou córregos não provoquem erosões;

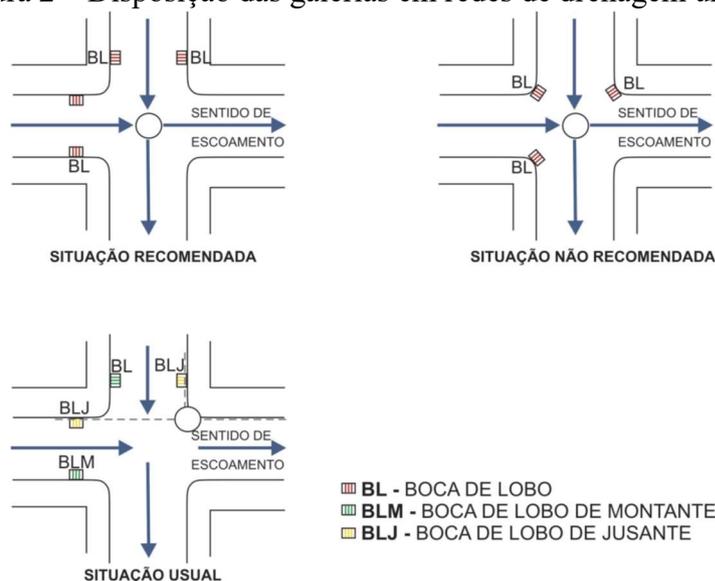
- Revestimento de taludes: os taludes são faces maciças com alta inclinação e as águas ao correrem pela sua superfície ganham velocidade, podendo causar assim a erosão. Logo, é preciso construir canaletas no topo e no pé do mesmo ou revestir o talude com uma fina camada de asfalto ou cobri-lo com o plantio de grama.

Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana da Prefeitura Municipal de Porto Alegre – RS (2005), dentre as informações que se deve ter para a elaboração de um projeto de drenagem pluvial, as mais importantes são: planta de situação da área do loteamento no município junto a planta geral da área de contribuição, levantamento planialtimétrico da área projetável, informe de redes já existentes próximas ou no local, discriminação da ocupação das áreas, parcela de área impermeável do loteamento ou área projetável.

Todo o sistema de drenagem pluvial deve ser projetado de maneira coesa, garantindo a todas as áreas englobadas no projeto, condições convenientes de drenagem (TUCCI, 2012):

- Galerias: utiliza-se duas formas na colocação da rede coletora, podendo ser sob o meio-fio (guia) ou então sob o leito carroçável (FIG. 2). O recobrimento sobre a tubulação deve ser no mínimo de um metro sobre a geratriz superior do tubo, devendo propiciar a ligação dos condutos de escoamento;

Figura 2 – Disposição das galerias em redes de drenagem urbana



Fonte: Tucci (2012)

- Bocas de lobo: para uma melhor locação das bocas de lobo, deve-se considerar que: as mesmas serão posicionadas nos dois lados da via quando a demanda calculada na sarjeta

- exigir ou quando for excedido seu limite de coleta; são colocadas em pontos de cotas baixas da área projetável; adota-se uma distância máxima de 60m entre as bocas coletoras se não tiver uma análise da demanda da sarjeta; não é recomendável a sua posição no vértice de duas sarjetas (ver FIG. 2), pois atrapalham os pedestres ao atravessar a rua e se nesta situação, uma boca de lobo coletaria duas torrentes de fluxos contrários, com velocidades contrárias uma da outra podendo ser prejudicial a mesma;
- Poço de visita: sua instalação é recomendada quando na rede se tem uma mudança de direção do fluxo das galerias, cruzamento de ruas, alteração na declividade e mudança no diâmetro da tubulação. Os espaçamentos entre os poços de visitas são dependentes do diâmetro das galerias. Uma rede ou trecho de rede com diâmetro de 0,30m, recomenda-se um espaçamento máximo de 50m, já para galerias com diâmetros de 0,50 a 0,90m toma-se por base um espaçamento máximo de 80m e condutos com diâmetros 1,00 m ou mais, tem-se por referência uma distância máxima de 100m uns dos outros;
 - Caixa de passagem: tem o mesmo princípio funcional de um poço de visita, porém não permite a manutenção na rede. Devem ser locadas quando ocorre a instalação de bocas coletoras intermediárias ou quando um poço de visita recebe mais de quatro tubulações.

Para Tucci (2012), no desenvolvimento de um traçado de rede de drenagem, devem ser estudadas variadas disposições para a mesma, sendo considerados fatores topográficos locais e o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico. O projeto deve ser desenvolvido com base no projeto urbanístico já finalizado ou paralelo a concepção do mesmo, do contrário, o sistema de drenagem pode ficar com sua funcionalidade limitada, o que pode se desdobrar num custo maior da obra.

3.4.2 Macrodrenagem

A macrodrenagem tem por objetivo melhorar as circunstâncias de escoamento providas da microdrenagem e reduzir os problemas triviais de erosões, assoreamentos e inundações por toda extensão dos talvegues principais. Ela também tem por responsabilidade o escoamento final das águas pluviais, o qual pode ser definido em leitos naturais ou artificiais, tubulações de grandes magnitudes e estruturas auxiliares (FUNASA, 2006).

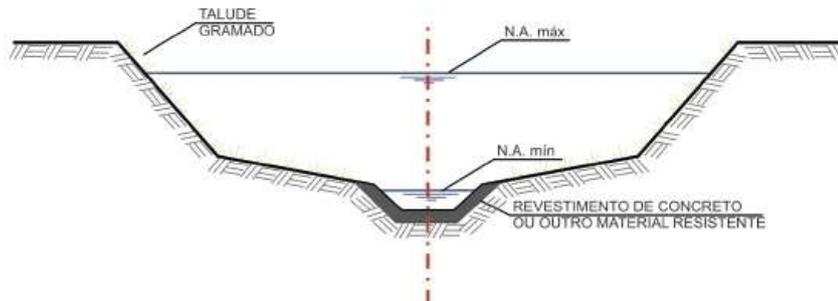
As obras de macrodrenagem são compostas na maioria das vezes por estruturas de grandes magnitudes, podendo ser canais naturais ou artificiais, reservatórios de retenção ou retenção e galerias de maiores dimensões (TUCCI, 2012):

- Canais abertos: são muitas vezes são utilizados pela série de vantagens que apresenta, como por exemplo, a possibilidade de inclusão de vazões maiores do que as de projeto, a facilidade de manutenção, a possibilidade de proveito paisagístico com o enaltecimento das áreas ribeirinhas, se possível;
- Galerias de grandes dimensões: é a solução em muitos casos, afinal, o complexo viário limita muitas vezes a construção de canais ou soluções mais espaçosas. Em certas situações essas galerias demandam seções transversais de configurações variadas, podendo apresentar problemas no seu desempenho hidráulico pela necessidade de instalação de “janelas” ao longo das paredes de sua extensão com a função de proporcionar um equilíbrio de vazões entre as células das galerias. Essas aberturas (janelas) implicam em perdas de carga localizadas não desprezíveis, além de contribuir no acúmulo de lixo que reduzem a seção transversal, atrapalhando o fluxo d’água;
- Reservatórios de detenção ou retenção: dispositivos de armazenamento possuem rara utilização ainda no Brasil. São usados mais constantemente em países de primeiro mundo a mais de duas décadas. Os reservatórios possuem alta versatilidade na escolha da sua localização, apresentando possibilidade de padronização no processo de instalação, proporcionando também a melhoria nas circunstâncias de drenagem a jusante, e no domínio em tempo real das vazões.

Segundo as Diretrizes de Projeto para Macrodrenagem da Prefeitura Municipal de São Paulo (1999), deve-se seguir as seguintes recomendações na projeção/execução dos elementos das obras de macrodrenagem:

- Canais abertos: a definição da geometria da seção transversal a ser planejado, é dependente de alguns fatores primordiais, como espaço disponível, peculiaridades do solo de apoio, níveis da água e da soleira jusante, declividade e condições de funcionalidade. O protótipo ideal de um canal aberto de macrodrenagem é a seção trapezoidal escavada com taludes gramados, como mostrado na FIG.3, ora pela sua facilidade na execução e controle, ora pela economia na sua implantação.

Figura 3 - Seção trapezoidal escavada com taludes gramados



Canal escavado - Seção mista

Fonte: Tucci (2012)

- Galerias de grandes dimensões: em função do possível acúmulo de lixo e das perdas de cargas localizadas não desprezíveis, é recomendável adotar galerias de célula única, o que possibilita ser projetado o seu fundo com geometria triangular, permitindo a concentração das vazões menores em sua parcela central, auxiliando na condução natural do material sedimentável. Se não possível, recomenda-se a locação de trechos em canal aberto que funcionariam como elementos de padronização do fluxo da água, ou nos pontos de possível acúmulo de resíduos (janelas) serem instaladas caixas que proporcionam a remoção dos detritos.

3.4.3 Parâmetros hidrológicos envolvidos no projeto de drenagem urbana

Para elaboração de um preciso projeto de drenagem pluvial urbana, deve - se considerar vários parâmetros para o dimensionamento dos elementos estruturais, onde na maioria das vezes são levados em questão, os seguintes: áreas (bacias) de contribuição, equação de chuvas intensas, período de retorno, tempo de concentração e coeficientes de atrito (rugosidade da superfície de escoamento).

Uma bacia de contribuição pode ser descrita como uma área definida por um divisor de águas, que separa das bacias adjacentes e que contribui na coleta natural das águas pluviais pela superfície de escoamento. Em uma rede de drenagem, uma bacia é composta por cursos d'água, fazendo confluir diferentes escoamentos para um único ponto de coleta (TUCCI, 1997).

A determinação das bacias de contribuição é de suma importância nas previsões de onde se podem apresentar problemas na drenagem, principalmente nas partes com topografia

acentuadas, já que essas são áreas com possibilidade de saturação, logo, são consideradas zonas instáveis (RAMOS, 2003).

Já a determinação das equações de chuvas intensas possui grande importância nos projetos de drenagem urbana, barragens, vertedores de barragens, entre outros, pois é um parâmetro a ser considerado na estimativa de vazões de projeto (SOUZA, 2014). Para a definição das curvas de intensidade das chuvas, tempo de duração e frequência é necessário ter conhecimento de parâmetros peculiares (a, b e c) definidos de acordo com a localidade (CHOW, 1964, apud SOUZA, 2014).

Segundo o Manual de Hidrologia Básica Para Estruturas de Drenagem do DNIT (2005), o período de retorno ou período de recorrência nas obras de drenagem se refere ao intervalo de tempo em anos onde supostamente acontecerá um fenômeno de alta amplitude pelo menos uma vez, sendo assim ele é um parâmetro de grande importância no dimensionamento que terá que ser feito de maneira que a estrutura projetada suporte estes fenômenos sem riscos. Na escolha do tempo de retorno, deve-se ser lembrado o princípio de que, quando maior o espaço de tempo adotado, mais onerosa será a obra, ao mesmo tempo, os prejuízos desencadeados da insuficiência a esta vazão serão menores, demandando menos despesas de reparos ou correções.

Já o tempo de concentração, de acordo com Silveira (2005) pode ser definido como o tempo exigido para que toda a bacia esteja colaborando na seção de saída. Uma definição mais sucinta foi feita por McCuen et. al. em 1984, conforme citação feita por Silveira (2005), que diz que o tempo de concentração é o tempo necessário onde uma gota d'água percorre superficialmente o ponto mais longe da bacia até sua saída. O tempo de concentração é um dos parâmetros mais usados no cálculo de chuvas e dados para projetos, por outro lado, é um parâmetro hidrológico complexo de ser definido, ficando na maioria das vezes a critério do projetista, afinal existem poucas informações sobre a eficiência das diversas fórmulas disponíveis de determinação deste dado (SILVEIRA, 2005).

Os coeficientes de atrito podem ser definidos como fator de resistência ao processo natural do escoamento em função da natureza do material da superfície por onde a água percorre (TUCCI, 2012).

A correta determinação do coeficiente de atrito (rugosidade) é um parâmetro primordial na avaliação da capacidade de vazão. Um valor exacerbado ou abaixo do real, pode ter desdobramentos antieconômicos, pois implicam na escolha errada do tipo de tubulação (ABTC, 2004).

3.5 Uso de softwares em engenharia civil

Na maioria das áreas econômicas, a evolução da tecnologia de informação (TI) ofereceu métodos eficientes no gerenciamento do trânsito constante de informações entre empresas. Nesse contexto, a área da Engenharia Civil, constantemente classificada como conservadora quando relacionada à inserção de avanços tecnológicos, passa por modificações notáveis. No entanto, a corrente produtiva desta área apresenta peculiaridades, que a faz distinta das outras, especialmente por ter em sua composição várias empresas de pequeno e médio calibre, sendo definida como um tipo de indústria de grande fragmentação (XII SIMPEP, 2006).

A perspectiva de um determinado empreendimento e as condições locais (seja da cidade, estado ou região específica) podem influenciar negativa ou proativamente na situação de vida da população. Nesse cenário, a definição de técnicas e processos construtivos pertinentes dependem significativamente do ambiente, seja pelos produtos disponíveis, seja pelo preparo dos trabalhadores. O universo da construção civil é composto por uma grande concorrência de preços. Muitos empresários e empreendedores buscam instaurar tecnologias novas na concepção de um empreendimento, visando menores custos, níveis mais altos de produtividade, minorar perdas de mão de obra, materiais e ganhar velocidade na execução (TOLEDO; ABREU; JUNGLES, 2000).

Hoje em dia, estudos gradativamente mais profundos e refinados fazem parte da rotina do profissional da engenharia. De frente a esse contexto, torna-se um princípio o conhecimento de um engenheiro sobre noções nítidas da suma importância dos softwares na concepção de um projeto, sabendo dos seus cabidos limites e especialmente, saber utilizá-los de maneira consciente (KIMURA, 2007).

3.5.1 CDren®

O CDren® é uma ferramenta computacional, desenvolvida pela Fundação Centro Tecnológica de Hidráulica (FCTH), indicado para o cálculo de redes de drenagem pluvial urbana e envolve em suas práticas todas as funções apropriadas aos projetos desse setor da engenharia. É uma plataforma desenvolvida para o sistema operacional “Windows”, englobando todas as simplicidades de traçado e desenho, simplificando as tarefas do projetista responsável e aliviando-o de trabalhos que na maioria das vezes são fatigantes, como por

exemplo, o levantamento das áreas de contribuição e a análise dos dados de escoamento em vias e sarjetas.

Possui interface simples que facilita o traçado e o cálculo de variadas formas. O software realiza automaticamente as representações gráficas necessárias a um projeto e o levantamento dos quantitativos de materiais e serviços, necessários em um orçamento.

Elaborado integralmente em plataforma 32-bit, a versão 7.0.1 é composta por uma lista de facilidades desencadeadas pelo avanço das ferramentas computacionais, sem contar que é compatível com os principais softwares comerciais disponíveis e usados atualmente, como por exemplo o Autodesk AutoCAD® e o Microsoft Excel®.

O funcionamento do CDren® em projetos de redes de drenagem é basicamente fundamentado no traçado gráfico que será criado na tela do computador. A eficiência do programa é inerente a disponibilidade de dados de campo em forma digital, tanto os dados topográficos e viários da área projetável, ao mesmo tempo o software também possibilita o desenvolvimento do projeto fazendo o uso de imagens tipo raster ou fornecendo apenas o traçado esquemático da rede pretendida.

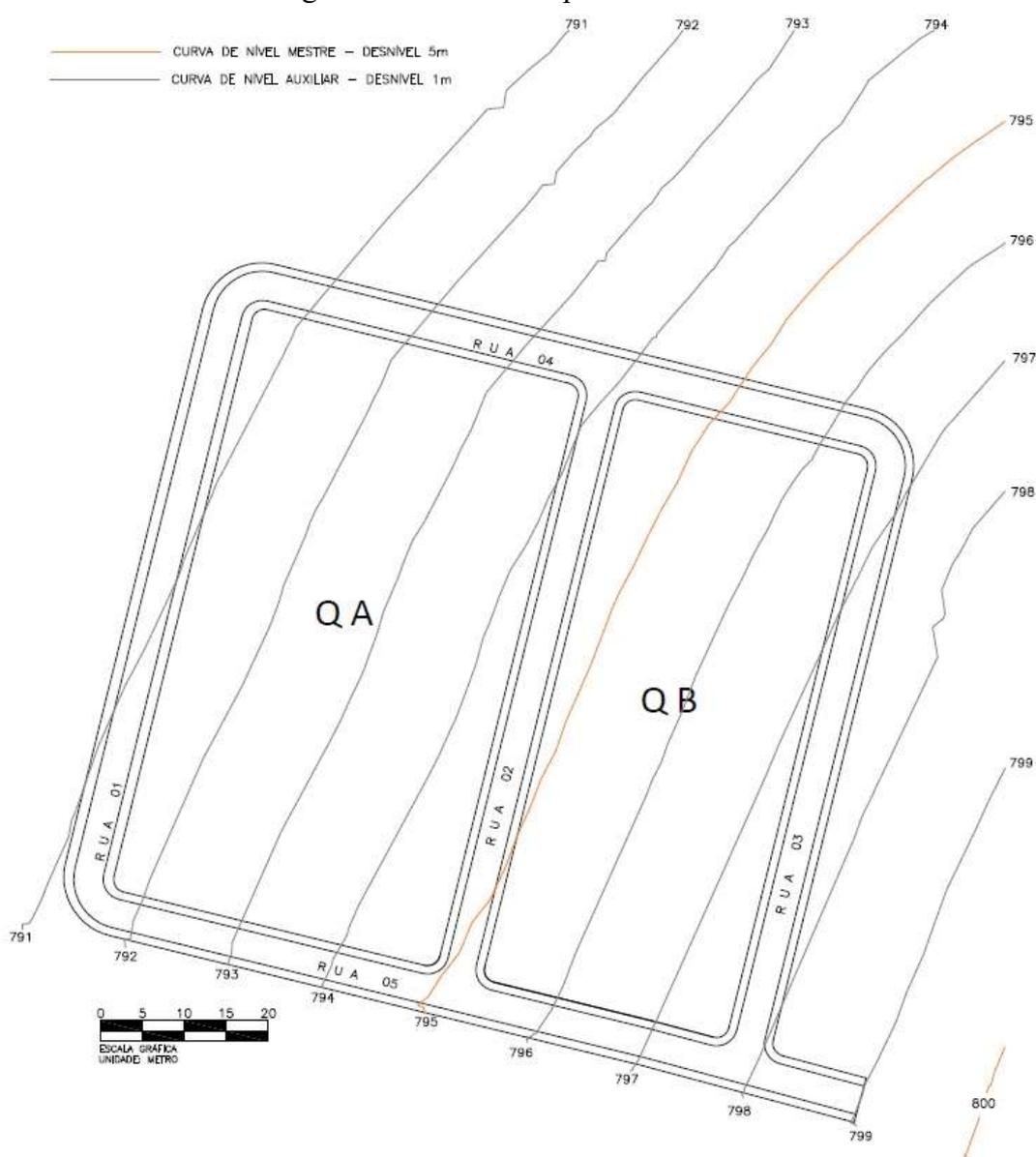
As informações mínimas primordiais ao projeto são (FCTH, 2002 – Manual do Usuário):

- Topografia do local: deve ser fornecida em arquivos no formato DXF (drawing interchange file), com camadas separadas das demais, comportando apenas as curvas de nível da área projetável. As curvas de nível devem estar em 3D (tridimensional, com pontos cotados em x, y e z);
- Traçado viário: traçado do arruamento da área do projeto, devendo ser exportado através de um aplicativo de plataforma CAD (computer aided design - AutoCAD) para um arquivo no formato DXF, sendo este com camadas separadas das demais;
- Critérios de projeto: valores normalizados para taxa de infiltração, declividades, limites de velocidade e profundidade admitidas;
- Critérios unitários: para a concepção do orçamento de um projeto também é preciso critérios de composição de custos e valores unitários de materiais e serviços.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado para o desenvolvimento do trabalho um loteamento residencial, composto por 2 quadras, divididas em 32 lotes para uso residencial, com área média de 629,62 m² por lote, onde no mesmo foi calculada a rede de microdrenagem pluvial, considerando-o com uma disposição altimétrica plana, com uma diferença pequena de nível ao longo da superfície do loteamento, como pode ser conferido na FIG. 4.

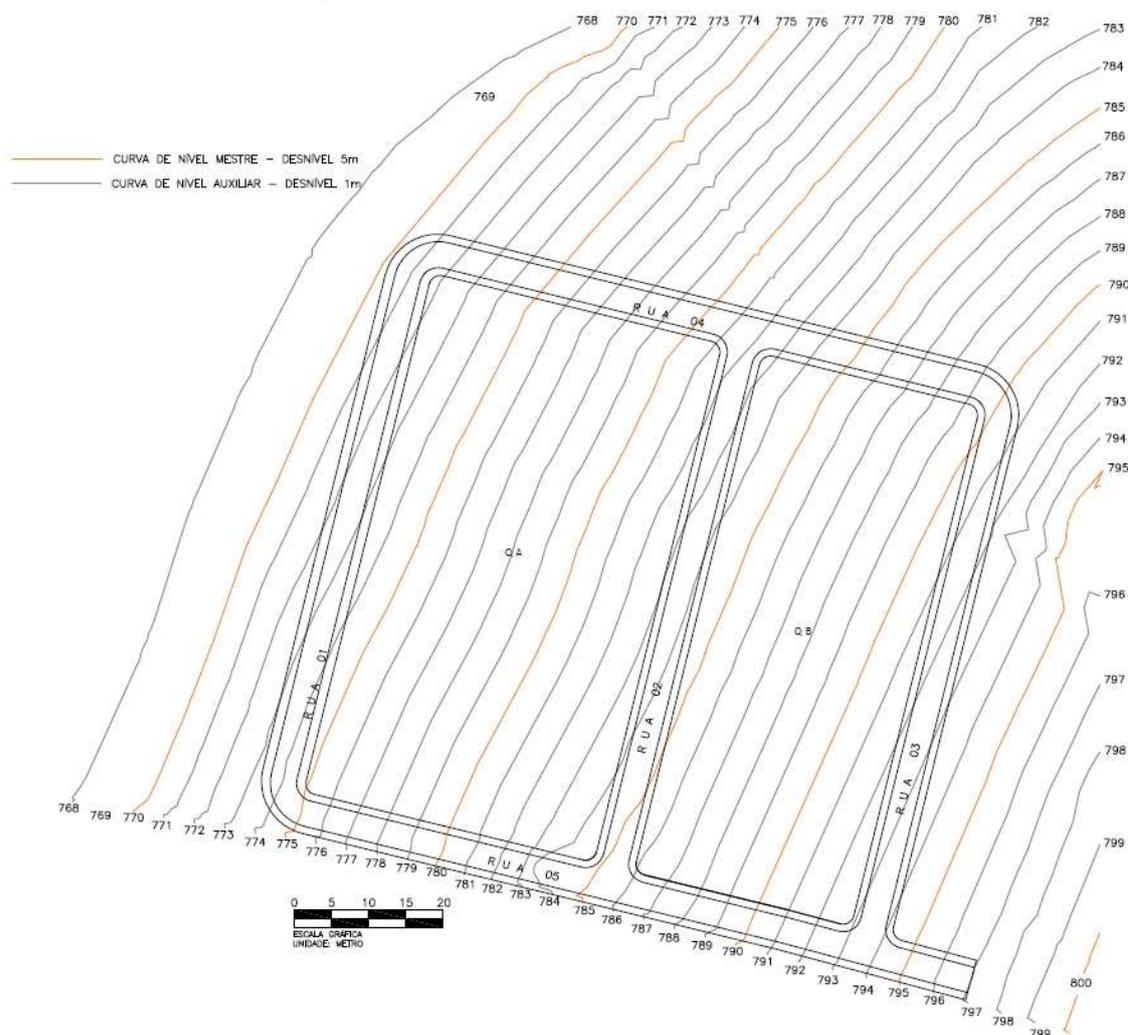
Figura 4 - Loteamento plano



Fonte: Elaborada pelo autor (2017)

O mesmo loteamento, portando as mesmas dimensões e disposições físicas, porém com uma configuração altimétrica mais íngreme, tendo assim uma diferença de nível maior pela extensão de sua superfície também foi considerado, como mostrado na FIG.5.

Figura 5 - Loteamento Inclinado



Fonte: Elaborada pelo autor (2017)

O loteamento contempla uma área total de 36.033,65 m² sendo:

- 20.147,95 m² para área de lotes, equivalente a 55,91% do total;
- 8.869,90 m² para o sistema viário, equivalente a 24,62% do total;
- 6.504,50 m² para áreas públicas, equivalente a 18,05% do total; e
- 511,30 m² para área de preservação permanente, equivalente a 1,42% do total.

O dimensionamento da rede de drenagem em ambas as áreas foi realizado manualmente e com o auxílio de um software. No dimensionamento manual, primeiramente foi realizado um estudo hidrológico, sendo considerados dados pluviométricos da cidade de Formiga, Minas

Gerais. O loteamento então teve suas bacias de contribuição traçadas ao longo de seu espaço para se então calcular o tempo de concentração de cada bacia, onde cada bacia possui uma vazão e um tempo de concentração, sendo estes em função da sua declividade, extensão e sua área, entre outras constantes.

Com as vazões das áreas de contribuição determinadas, foram realizados os cálculos da altura da lâmina líquida próxima a guia e posteriormente calculadas as vazões que cada sarjeta transportará para as bocas de lobo. Com a entrada nas bocas de lobo, a água será direcionada à galerias, que terão seu diâmetro em função da das vazões recebidas. Já no dimensionamento realizado por meio do software CDren®, foi feita a leitura das áreas de contribuição e traçada a rede de acordo com as limitações do software. Os cálculos foram feitos com base nos dados informados ao mesmo.

4.1 Dimensionamento manual

Neste tópico serão mostrados os procedimentos utilizados para os dimensionamentos manuais.

4.1.1 Estudos Hidrológicos

Nos estudos hidrológicos, serão informadas as fórmulas e cálculos usados na obtenção de dados hidrológicos para os posteriores cálculos.

4.1.1.1 Equação de chuvas intensas

Para determinação da intensidade máxima média de precipitação, foi utilizada a equação IDF, apresentada na Equação 1, considerando um tempo de retorno, TR, de 10 anos.

$$I = \frac{K \times TR^a}{(tc + b)^c} \quad (1)$$

Em que:

I = intensidade da chuva (mm/h);

tc = duração da precipitação (minutos);

TR = tempo de retorno (anos) = 10; e

k, a, b, c - parâmetros da equação.

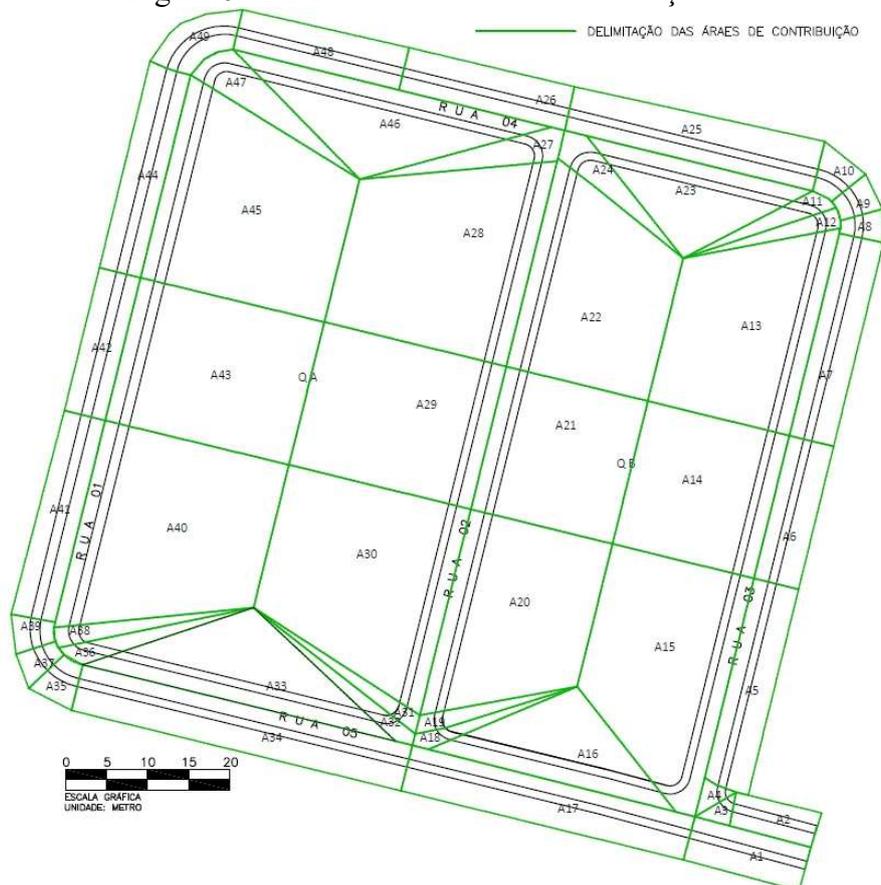
De acordo com Borges e Thebaldi (2016) para os parâmetros k , a , b e c da equação IDF para a cidade de Formiga, são considerados os seguintes valores:

- $K = 863,3250508$;
- $a = 0,144458656$;
- $b = 9,78902144$; e
- $c = 0,724312897$.

4.1.1.2 Bacias de contribuição

As bacias de contribuição serão determinadas de acordo com o planejamento prévio, sendo definidas de acordo com a disposição física do desnível. Em função da variedade e da complexa geometria de cada bacia, as áreas das mesmas foram extraídas no software de desenho computacional, Autocad[®], onde para todos os dimensionamentos, seja ele manual ou pelo software, íngreme ou plano, foram utilizadas as mesmas divisões das bacias de contribuição, que pode ser visto na FIG.6.

Figura 6 - Divisão das bacias de contribuição



Fonte: Elaborada pelo autor (2017)

4.1.1.3 Tempo de concentração

Para o cálculo da Intensidade média máxima de precipitação a ser considerada no projeto de drenagem de águas pluviais, o tempo de duração da chuva é substituído pelo tempo de concentração da bacia captadora de água. O tempo de concentração, t_c , é variante para cada bacia. Para o loteamento com maior declividade, foi definido pela fórmula de Kirpich, mostrado por Tucci (1993), descrito na Equação 2.

$$t_c = 3,989 \times \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (2)$$

Em que:

t_c = tempo de concentração da bacia de contribuição (min);

L = comprimento do talvegue (km); e

S = declividade do talvegue (m/km).

Já para o loteamento com disposição altimétrica com caráter plano, o tempo de concentração foi encontrado pela fórmula da onda cinemática, mostrada na Equação 3.

$$t_c = 4,47 \times (n \times L)^{0,6} \times S^{0,3} \times I^{-0,4} \quad (3)$$

Em que:

t_c = tempo de concentração da bacia de contribuição (min);

L = comprimento do talvegue (km);

S = declividade do talvegue (m/km).

n = rugosidade de Manning; e

I = intensidade da precipitação (mm/h).

4.1.1.4 Vazão das bacias de contribuição

Para o cálculo das vazões de cada bacia de contribuição foi utilizado o “Método Racional” conforme representado na Equação 4.

$$Q = \frac{(C \times I \times A)}{3,6} \quad (4)$$

em que:

Q = vazão de escoamento (m³/s);

C = coeficiente de deflúvio;

I = intensidade de precipitação (mm/h); e

A = área de contribuição (km²).

4.1.1.5 Coeficiente de deflúvio

Para o cálculo do coeficiente deflúvio, ou coeficiente de escoamento superficial, foi utilizada uma ponderação, uma vez que na área urbanizada se tem diferentes tipos de revestimentos superficiais, os quais influenciam de maneiras diferentes no escoamento da água pluvial até sua coleta. Foi considerada a área de drenagem efetiva do projeto como 35.552,35 m², sendo: 20.147,95m² área de lotes, 8.869,90m² constituindo o sistema viário e 6.504,50m² compondo áreas públicas.

O coeficiente ponderado será calculado pela soma da porcentagem de cada parte da área efetiva de drenagem pluvial em relação a área total (35.552,35 m²), multiplicada pelo seu coeficiente de deflúvio, C, específico (TAB. 2), como mostrado na Equação 5.

$$C_{ponderado} = P1 \times C_{esp1} + P2 \times C_{esp2} + P3 \times C_{esp3} + P4 \times C_{esp4} \quad (5)$$

Em que:

P1 = porcentagem da área permeável dos lotes em relação a área total efetiva de drenagem;

P2 = porcentagem da área impermeável dos lotes em relação a área total efetiva de drenagem;

P3 = porcentagem do sistema viário do loteamento em relação a área total efetiva de drenagem;

P4 = porcentagem das áreas públicas do loteamento em relação a área total efetiva de drenagem;

Cesp1 = coeficiente de deflúvio específico da área permeável dos lotes;

Cesp2 = coeficiente de deflúvio específico da área impermeável dos lotes;

Cesp3 = coeficiente de deflúvio específico do sistema viário; e

Cesp4 = coeficiente de deflúvio específico das áreas públicas.

Os coeficientes de escoamento serão determinados conforme a TAB. 2, de Chow (1998).

Tabela 2 - Coeficientes de deflúvio específicos variantes para cada superfície e tempos de retorno da precipitação considerada

Superfície	Coeficientes de deflúvio						
	Tempo de retorno (anos)						
	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/telhado	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Gramados (cobrimento de 50% da área)							
Plano (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Médio (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Inclinado (>7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Gramados (cobrimento de 50-70% da área)							
Plano (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Médio (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Inclinado (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Gramados (cobrimento maior que 75% da área)							
Plano (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Médio (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,42	0,56
Inclinado (>7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,47	0,58
Campos cultivados							
Plano (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Médio (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Inclinado (>7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastos							
Plano (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Médio (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Inclinado (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Florestas/Reflorestamentos							
Plano (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Médio (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Inclinado (>7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fonte: Chow (1998)

4.1.2 Dimensionamento hidráulico

4.1.2.1 Capacidade de escoamento das sarjetas

A vazão máxima suportada na sarjeta ou nos leitos serão sendo levado em conta parâmetros iguais, porém valores distintos para cada situação do loteamento, uma vez que os dados hidrológicos são diferentes para cada situação. Nos dois casos, as velocidades de escoamento nas sarjetas serão obtidas a partir da Equação 6.

$$V = K \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (6)$$

Em que:

V = velocidade (m/s);

K = coeficiente de rugosidade = 60;

R = raio hidráulico (m) ($R = A/P$; A = área e P = perímetro molhado); e

S = declividade da rua (m/m).

Obtendo a velocidade do escoamento, a capacidade de escoamento das sarjetas ou de todo leito carroçável será obtida através da equação da continuidade, mostrada na Equação 7:

$$Q = V \times A \quad (7)$$

Em que:

Q = vazão no canal (m^3/s);

V = velocidade (m/s); e

A = área da seção molhada (m^2).

4.1.2.2 Capacidade das bocas coletoras

As bocas coletoras tiveram sua capacidade de engolimento calculada conforme a fórmula definida por Tucci, mostrada na Equação 8:

$$Q = 1,7 \times L \times y^{3/2} \quad (8)$$

Em que:

Q = vazão de engolimento (m^3/s);

L = comprimento da soleira (m); e

y = altura de água próximo à abertura na guia (m).

A altura y de água próximo à guia foi calculada para cada trecho de sarjeta do projeto. A fim de se obter uma maior precisão no funcionamento das bocas coletoras, foi levado em conta um fator de redução, que se dá por eventuais obstruções mínimas presentes nos canais das sarjetas. Segundo dados da DAEE/CETESB, 1980, apresentados por Tucci (1993), o fator de redução é dado em função da declividade da mesma (TAB. 3).

Tabela 3 - Fator de redução em função da declividade

Declividade da sarjeta (%)	Fator de redução
0,4	0,50
1-3	0,80
5,0	0,50
6,0	0,40
8,0	0,27
10	0,20

Fonte: adaptado de Tucci (1993).

4.1.2.3 Poços de visita

Os poços de visita foram locados de maneira a atender a demandas das bocas coletoras, dando condição para a água coletada nas mesmas percorrer as galerias da rede projetada, findando seu percurso indo para a macrodrenagem.

4.1.2.4 Diâmetro das galerias

A água coletada nas bocas de lobo, são levadas pelos trechos de ligação até os poços de visita, e destes, para as galerias. Os diâmetros das galerias foram calculados conforme a equação 9.

$$D = 1,55 \times \left(\frac{Q}{K\sqrt{i}} \right)^{3/8} \quad (9)$$

Em que:

Q = vazão ou soma das vazões captadas pelas bocas de lobo a serem atendidas (m³/s);

K = coeficiente de rugosidade para condutos de concreto = 75; e

i = declividade longitudinal da rua (m/m).

4.2 Cálculo computacional – CDren®

A entrada de dados no software CDren® é realizada por meio de arquivo tipo DXF sendo obtidas pelo software as curvas de nível, bem como o traçado urbanístico do loteamento, contendo a distribuição dos lotes, o arruamento, as calçadas e as sarjetas.

As bacias de contribuição utilizadas foram as mesmas do dimensionamento manual e que forneceram as vazões coletadas em cada trecho de sarjeta. A vazão dos trechos de sarjeta, determinam o posicionamento das bocas de lobo. Realizadas estas etapas, foram traçadas, de forma manual, as galerias ao longo do arruamento conduzindo toda a água coletada pelas bocas de lobo.

Os cálculos e dimensionamentos desenvolvidos pelo software CDren® é baseado em dados informados pelo usuário do mesmo. A guia para entrada de dados para cálculo das galerias no software pode ser vista na FIG. 7.

Figura 7 - Guia para entrada de dados para cálculo das galerias no software CDren®

Fonte: CDren® (2002)

Na Figura 7, pode ser vista a guia em que devem ser definidas as condições de cálculo necessárias para o dimensionamento das galerias, onde se demanda dados da Lâmina Máxima,

o diâmetro mínimo a ser considerado, o recobrimento mínimo que irá acima das galerias, a profundidade máxima da geratriz inferior do tubo, a área do PV considerada em planta, as velocidades mínima e máxima do escoamento no interior das galerias, as alturas mínima e máxima dos degraus (se preciso), e, por fim, a declividade mínima construtiva. A guia para entrada de dados das ruas do loteamento pode ser vista na FIG. 8.

Figura 8 - Guia para entrada de dados das ruas do loteamento no software CDren®

The image shows a software dialog box titled "Dados Gerais para o Cálculo". It has several tabs: "Galerias", "Ruas", "Sarjetas", "Chuva", "Dados Estruturais", "Bocas de Lobo", and "Crítérios de Cálculo". The "Ruas" tab is selected. Under the heading "Geometria:", there are seven input fields: "Largura da Via (m)", "n Manning", "Declividade Transversal (%)", "Largura da Faixa de Rolamento (m)", "Carga de Roda (kN)", "Coeficiente de Impacto", and "Classe da Via". The "Classe da Via" field is a dropdown menu currently showing "Secundária". At the bottom right of the dialog are "OK" and "Cancela" buttons.

Fonte: CDren® (2002)

Para a continuação dos parâmetros, na guia “Ruas”, é levado em conta a largura da via, o valor do coeficiente de Manning, a declividade transversal do arruamento, a largura da faixa de rolamento, a carga de roda que os leitos receberão, o coeficiente de impacto e a classe da via quanto a sua superfície. A janela para entrada de informações para o cálculo das sarjetas, pode ser vista na FIG. 9.

Figura 9 - Guia para entrada de informações para o cálculo das sarjetas no software CDren®

The image shows the same software dialog box "Dados Gerais para o Cálculo", but with the "Sarjetas" tab selected. The "Geometria:" section now contains six input fields: "Largura da Sarjeta (m)", "Altura da Sarjeta", "Tangente θ ", "Velocidade Mínima (m/s)", "Velocidade Máxima (m/s)", and "n Manning". The "OK" and "Cancela" buttons are still present at the bottom right.

Fonte: CDren® (2002)

Nos parâmetros da guia “Sarjetas” será dado a largura considerada para os canais de sarjeta, a altura da guia da sarjeta, a tangente, as velocidades mínimas e máxima suportadas pelos canais das mesmas e por fim, se pede o coeficiente “n” de Manning considerado na superfície das sarjetas. Já a guia para entrada de dados pluviométricos, é mostrada na FIG. 10.

Figura 10 - Guia para entrada de dados pluviométricos no software CDren®

Dados Gerais para o Cálculo

Galerias Ruas Sarjetas Chuva Dados Estruturais Bocas de Lobo Critérios de Cálculo

Dados:

Duração (min):

Período de Retorno:

C (coeficiente de run-off):

Porcentagem Impermeável:

Tempo de Concentração mínimo (min):

Curva IDF: **Mgbhorz4.idf** **Belo Horizonte (MG)** **Altera IDF**

Utiliza cálculo automático de Intensidade de Precipitação

Utiliza cálculo automático do Coeficiente de Escoamento

OK Cancela

Fonte: CDren® (2002)

Na guia “Chuvas”, serão informados parâmetros hidrológicos das chuvas, como a duração, o período de retorno considerado, o coeficiente de run-off, a porcentagem impermeável de todo o sistema de microdrenagem, o tempo de concentração mínimo, os parâmetros de intensidade das chuvas e as opções para se calcular automaticamente a intensidade de precipitação e coeficiente de escoamento. O software também considera parâmetros estruturais, o que pode ser visto na guia de dados estruturais, na FIG. 11.

Figura 11 - Guia para entrada de dados estruturais no software CDren®

Fonte: CDren® (2002).

Na janela de “Dados Estruturais” foram passadas ao software a espessura do berço (assentamento da tubulação), a espessura de envoltório sobre a geratriz superior do tubo, a espessura do reforço de fundação, o peso específico do solo de reaterro, o coeficiente de empolamento do solo, além de serem dadas as opções da definição automática do escoamento e de fixar um material envoltório para toda a rede de microdrenagem. A guia para entrada de dados para o cálculo das bocas de lobo, pode ser vista na FIG. 12.

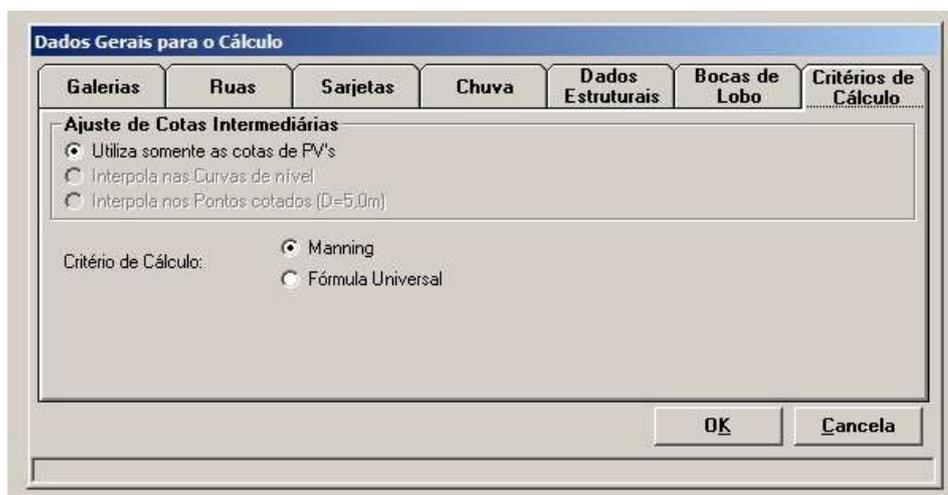
Figura 12 - Guia para entrada de dados para o cálculo das bocas de lobo no software CDren®

Fonte: CDren® (2002)

Para o dimensionamento das bocas de lobo, foi inserido no software um número máximo considerado de bocas de lobo contíguas, uma capacidade de engolimento para bocas coletoras

locadas em declives e pontos baixos, assim como o diâmetro dos tubos de ligação. A guia ainda oferece a opção para calcular automaticamente a capacidade das bocas de lobo ou de considerar zero a quantidade de bocas de lobo antes de calcular, ver FIG. 13.

Figura 13 - Guia dos critérios de cálculo, no software CDren®



Fonte: CDren® (2002)

Nos critérios de cálculo, foi informado ao software apenas o tipo de ajuste de cotas intermediárias, se utilizará apenas as cotas dos PV's, se foi interpolado nas curvas de nível ou se foi interpolado nos pontos cotados, além de ser definido se será pelo critério Manning ou pela Fórmula Universal. Definidos corretamente os parâmetros mostrados, o software concluiu o cálculo, informando os resultados sobre a rede de microdrenagem pluvial.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação dos dados dos tempos de concentração, intensidade da chuva e a vazão de escoamento superficial de cada bacia de contribuição em cada um dos cenários, pode ser vista na TAB. 4.

Tabela 4 - Comparação dos dados dos tempos de concentração, intensidade da chuva e a vazão de escoamento superficial de cada bacia de contribuição em cada um dos cenários.

Fonte de Cálculo	Disposição Altimétrica	Área de Contribuição	Tempo de Concentração		I (mm/h)	Vazão	
			tc (minutos)	tc (segundos)		Q (m³/s)	Q (l/s)
Manual	Plano	A1	0,06	3,59	229,67	0,0139	13,91
CDren®	Plano		0,50	30,00	228,07	0,0133	13,30
Manual	Inclinado		0,04	2,55	229,97	0,0145	14,53
CDren®	Inclinado		0,50	30,00	228,07	0,0139	13,90
Manual	Plano	A2	0,06	3,32	229,75	0,0078	7,83
CDren®	Plano		0,35	21,00	228,07	0,0077	7,70
Manual	Inclinado		0,03	2,08	230,10	0,0082	8,18
CDren®	Inclinado		0,35	21,00	228,07	0,0081	8,10
Manual	Plano	A3	0,03	1,54	230,25	0,0016	1,58
CDren®	Plano		0,10	6,00	228,07	0,0015	1,50
Manual	Inclinado		0,02	1,00	230,41	0,0017	1,65
CDren®	Inclinado		0,07	4,20	228,07	0,0016	1,60
Manual	Plano	A4	0,03	1,55	230,25	0,0017	1,75
CDren®	Plano		0,21	12,60	228,07	0,0017	1,70
Manual	Inclinado		0,02	1,07	230,38	0,0018	1,82
CDren®	Inclinado		0,13	7,80	228,07	0,0017	1,70
Manual	Plano	A5	0,11	6,56	228,84	0,0251	25,05
CDren®	Plano		1,27	76,20	228,07	0,0170	17,00
Manual	Inclinado		0,13	7,72	228,52	0,0261	26,10
CDren®	Inclinado		0,80	48,00	228,07	0,0258	25,80
Manual	Plano	A6	0,10	6,15	228,95	0,0174	17,39
CDren®	Plano		1,27	76,20	228,07	0,0171	17,10
Manual	Inclinado		0,08	5,02	229,27	0,0182	18,17
CDren®	Inclinado		0,08	4,80	228,07	0,0178	17,80
Manual	Plano	A7	0,13	8,06	228,42	0,0244	24,44
CDren®	Plano		1,27	76,20	228,07	0,0233	23,30
Manual	Inclinado		0,14	8,23	228,38	0,0255	25,49
CDren®	Inclinado		0,12	7,20	228,07	0,0143	14,30

Cont. da TAB. 4 - Comparação dos dados dos tempos de concentração, intensidade da chuva e a vazão de escoamento superficial de cada bacia de contribuição em cada um dos cenários

Fonte de Cálculo	Disposição Altimétrica	Área de Contribuição	Tempo de Concentração		I (mm/h)	Vazão	
			tc (minutos)	tc (segundos)		Q (m³/s)	Q (l/s)
Manual	Plano	A8	0,03	1,94	230,14	0,0026	2,59
CDren®	Plano		1,27	76,20	228,07	0,0025	2,50
Manual	Inclinado		0,02	1,37	230,30	0,0027	2,70
CDren®	Inclinado		0,09	5,40	228,07	0,0027	2,70
Manual	Plano	A9	0,03	1,99	230,13	0,0033	3,26
CDren®	Plano		0,13	7,80	228,07	0,0032	3,20
Manual	Inclinado		0,02	1,31	230,32	0,0034	3,40
CDren®	Inclinado		0,05	3,00	228,07		0,00
Manual	Plano	A10	0,03	1,66	230,22	0,0043	4,26
CDren®	Plano		1,70	102,00	228,07	0,0041	4,10
Manual	Inclinado		0,02	0,99	230,41	0,0044	4,44
CDren®	Inclinado		0,56	33,60	228,07	0,0042	4,17
Manual	Plano	A11	0,09	5,69	229,08	0,0049	4,95
CDren®	Plano		0,74	44,40	228,07	0,0430	43,00
Manual	Inclinado		0,06	3,64	229,66	0,0052	5,17
CDren®	Inclinado		0,39	23,40	228,07	0,0042	4,20
Manual	Plano	A12	0,10	5,73	229,07	0,0044	4,39
CDren®	Plano		1,43	85,80	228,07	0,0046	4,60
Manual	Inclinado		0,06	3,55	229,68	0,0046	4,59
CDren®	Inclinado		0,69	41,40	228,07	0,0048	4,80
Manual	Plano	A13	0,10	6,20	228,94	0,0679	67,92
CDren®	Plano		0,89	53,40	228,07	0,0604	60,40
Manual	Inclinado		0,07	4,09	229,53	0,0710	71,03
CDren®	Inclinado		0,69	41,40	228,07	0,0640	64,00
Manual	Plano	A14	0,10	6,26	228,92	0,0554	55,38
CDren®	Plano		0,89	53,40	228,07	0,0537	53,70
Manual	Inclinado		0,07	4,19	229,51	0,0579	57,91
CDren®	Inclinado		0,39	23,40	228,07	0,0561	56,10
Manual	Plano	A15	0,15	8,71	228,24	0,0762	76,16
CDren®	Plano		0,89	53,40	228,07	0,0721	72,10
Manual	Inclinado		0,09	5,67	229,09	0,0797	79,73
CDren®	Inclinado		0,89	53,40	228,07	0,0753	75,30
Manual	Plano	A16	0,12	6,91	228,74	0,0321	32,07
CDren®	Plano		1,30	78,00	228,07	0,0340	34,00
Manual	Inclinado		0,07	4,48	229,42	0,0335	33,55
CDren®	Inclinado		0,94	56,40	2280,70	0,0355	35,50

Cont. da TAB. 4 - Comparação dos dados dos tempos de concentração, intensidade da chuva e a vazão de escoamento superficial de cada bacia de contribuição em cada um dos cenários

Fonte de Cálculo	Disposição Altimétrica	Área de Contribuição	Tempo de Concentração		I (mm/h)	Vazão	
			tc (minutos)	tc (segundos)		Q (m³/s)	Q (l/s)
Manual	Plano	A17	0,13	7,67	228,53	0,0344	34,40
CDren®	Plano		0,84	50,40	228,07	0,0336	33,60
Manual	Inclinado		0,08	5,00	229,28	0,0360	36,00
CDren®	Inclinado		0,73	43,80	228,07	0,0351	35,10
Manual	Plano	A18	0,10	6,29	228,92	0,0037	3,68
CDren®	Plano		0,97	58,20	228,07	0,0037	3,74
Manual	Inclinado		0,07	4,04	229,55	0,0038	3,85
CDren®	Inclinado		0,52	31,20	228,07	0,0036	3,60
Manual	Plano	A19	0,10	5,75	229,07	0,0042	4,22
CDren®	Plano		0,10	6,00	228,07	0,0039	3,90
Manual	Inclinado		0,06	3,51	229,70	0,0044	4,42
CDren®	Inclinado		0,09	5,40	228,07	0,0040	4,00
Manual	Plano	A20	0,15	9,27	228,09	0,0675	67,48
CDren®	Plano		0,17	10,20	228,07	0,6640	64,00
Manual	Inclinado		0,07	4,09	229,53	0,0708	70,83
CDren®	Inclinado		0,09	5,40	228,07	0,0090	69,00
Manual	Plano	A21	0,11	6,43	228,88	0,0554	55,40
CDren®	Plano		0,17	10,20	228,07	0,0542	54,20
Manual	Inclinado		0,07	4,26	229,49	0,0579	57,94
CDren®	Inclinado		1,25	75,00	228,07	0,0565	56,50
Manual	Plano	A22	0,13	7,57	228,56	0,0681	68,09
CDren®	Plano		0,17	10,20	228,07	0,0658	65,80
Manual	Inclinado		0,08	5,00	229,28	0,0712	71,24
CDren®	Inclinado		0,23	13,80	228,07	0,0687	68,70
Manual	Plano	A23	0,11	6,42	228,88	0,0289	28,89
CDren®	Plano		0,08	4,80	228,07	0,0275	27,50
Manual	Inclinado		0,07	4,19	229,51	0,0302	30,21
CDren®	Inclinado		0,26	15,60	228,07	0,0290	29,00
Manual	Plano	A24	0,07	4,29	229,48	0,0080	8,01
CDren®	Plano		0,47	28,20	228,70	0,0028	2,80
Manual	Inclinado		0,06	3,31	229,75	0,0084	8,37
CDren®	Inclinado		0,26	15,60	228,07	0,0056	5,59
Manual	Plano	A25	0,12	6,90	228,75	0,0334	33,38
CDren®	Plano		0,64	38,40	228,07	0,0312	31,20
Manual	Inclinado		0,07	4,44	229,43	0,0349	34,92
CDren®	Inclinado		0,29	17,40	228,07	0,0326	32,60

Cont. da TAB. 4 - Comparação dos dados dos tempos de concentração, intensidade da chuva e a vazão de escoamento superficial de cada bacia de contribuição em cada um dos cenários

Fonte de Cálculo	Disposição Altimétrica	Área de Contribuição	Tempo de Concentração		I (mm/h)	Vazão	
			tc (minutos)	tc (segundos)		Q (m³/s)	Q (l/s)
Manual	Plano	A26	0,08	4,95	229,29	0,0195	19,47
CDren®	Plano		0,67	40,20	226,53	0,0188	18,80
Manual	Inclinado		0,05	3,27	229,76	0,0204	20,35
CDren®	Inclinado		0,42	25,20	228,07	0,0201	20,10
Manual	Plano	A27	0,10	5,79	229,06	0,0094	9,38
CDren®	Plano		1,99	119,40	228,07	0,0091	9,10
Manual	Inclinado		0,06	3,88	229,59	0,0098	9,81
CDren®	Inclinado		0,07	4,20	228,07	0,0810	8,10
Manual	Plano	A28	0,11	6,50	228,86	0,0868	86,81
CDren®	Plano		1,99	119,40	228,07	0,0843	84,30
Manual	Inclinado		0,07	4,35	229,46	0,0908	90,78
CDren®	Inclinado		0,54	32,40	228,07	0,0880	88,00
Manual	Plano	A29	0,12	6,93	228,74	0,0712	71,15
CDren®	Plano		1,99	119,40	228,07	0,0689	68,90
Manual	Inclinado		0,07	4,49	229,42	0,0744	74,43
CDren®	Inclinado		0,13	7,80	228,07	0,0719	71,90
Manual	Plano	A30	0,13	7,92	228,46	0,0868	86,77
CDren®	Plano		1,99	119,40	228,07	0,0848	84,80
Manual	Inclinado		0,09	5,27	229,20	0,0908	90,80
CDren®	Inclinado		1,31	78,60	228,07	0,0886	88,60
Manual	Plano	A31	0,10	5,72	229,08	0,0046	4,63
CDren®	Plano		0,10	6,00	228,07	0,0044	4,40
Manual	Inclinado		0,06	3,82	229,61	0,0048	4,84
CDren®	Inclinado		0,10	6,00	228,07	0,0046	4,60
Manual	Plano	A32	0,10	5,89	229,03	0,0050	5,00
CDren®	Plano		0,10	6,00	228,07	0,0049	4,90
Manual	Inclinado		0,07	3,95	229,57	0,0052	5,23
CDren®	Inclinado		0,10	6,00	228,07	0,0051	5,10
Manual	Plano	A33	0,13	7,98	228,44	0,0398	39,84
CDren®	Plano		1,09	65,40	228,07	0,0384	38,40
Manual	Inclinado		0,09	5,26	229,21	0,0417	41,69
CDren®	Inclinado		1,09	65,40	228,07	0,0402	40,20
Manual	Plano	A34	0,14	8,48	228,31	0,0411	41,10
CDren®	Plano		0,81	48,60	228,07	0,0407	40,70
Manual	Inclinado		0,09	5,45	229,15	0,0430	43,02
CDren®	Inclinado		0,49	29,40	228,07	0,0424	42,40

Cont. da TAB. 4 - Comparação dos dados dos tempos de concentração, intensidade da chuva e a vazão de escoamento superficial de cada bacia de contribuição em cada um dos cenários

Fonte de Cálculo	Disposição Altimétrica	Área de Contribuição	Tempo de Concentração		I (mm/h)	Vazão	
			tc (minutos)	tc (segundos)		Q (m³/s)	Q (l/s)
Manual	Plano	A35	0,04	2,18	230,07	0,0041	4,08
CDren®	Plano		0,39	23,40	228,07	0,0039	3,90
Manual	Inclinado		0,02	1,32	230,32	0,0043	4,26
CDren®	Inclinado		0,04	2,40	228,07	0,0042	4,20
Manual	Plano	A36	0,10	5,93	229,02	0,0057	5,65
CDren®	Plano		0,80	48,00	228,07	0,0052	5,20
Manual	Inclinado		0,06	3,70	229,64	0,0059	5,91
CDren®	Inclinado		0,37	22,20	228,07	0,0053	5,30
Manual	Plano	A37	0,04	2,12	230,09	0,0029	2,92
CDren®	Plano		0,06	3,60	228,07	0,0027	2,70
Manual	Inclinado		0,02	1,22	230,34	0,0030	3,05
CDren®	Inclinado		0,04	2,40	228,07	0,0028	2,80
Manual	Plano	A38	0,10	6,03	228,99	0,0054	5,39
CDren®	Plano		1,04	62,40	228,07	0,0047	4,70
Manual	Inclinado		0,06	3,77	229,62	0,0056	5,63
CDren®	Inclinado		1,51	90,60	228,07	0,0050	5,00
Manual	Plano	A39	0,03	2,07	230,10	0,0032	3,18
CDren®	Plano		0,20	12,00	228,07	0,0030	3,00
Manual	Inclinado		0,02	1,34	230,31	0,0033	3,32
CDren®	Inclinado		0,55	33,00	228,07	0,0031	3,10
Manual	Plano	A40	0,11	6,69	228,80	0,0880	87,95
CDren®	Plano		1,04	62,40	228,07	0,0854	85,40
Manual	Inclinado		0,07	4,33	229,46	0,0920	92,01
CDren®	Inclinado		1,59	95,40	228,07	0,0895	89,50
Manual	Plano	A41	0,15	8,72	228,24	0,0233	23,32
CDren®	Plano		0,20	12,00	228,07	0,0229	22,90
Manual	Inclinado		0,10	5,93	229,02	0,0244	24,40
CDren®	Inclinado		0,10	6,00	228,07	0,0239	23,90
Manual	Plano	A42	0,14	8,68	228,25	0,0160	15,96
CDren®	Plano		0,20	12,00	228,07	0,0150	15,00
Manual	Inclinado		0,07	4,13	229,52	0,0167	16,73
CDren®	Inclinado		0,11	6,60	228,07	0,0157	15,70
Manual	Plano	A43	0,11	6,85	228,76	0,0718	71,80
CDren®	Plano		1,04	62,40	228,07	0,0696	69,60
Manual	Inclinado		0,07	4,41	229,44	0,0751	75,12
CDren®	Inclinado		0,86	51,60	216,60	0,0664	66,40

Cont. da TAB. 4 - Comparação dos dados dos tempos de concentração, intensidade da chuva e a vazão de escoamento superficial de cada bacia de contribuição em cada um dos cenários

Fonte de Cálculo	Disposição Altimétrica	Área de Contribuição	Tempo de Concentração		I (mm/h)	Vazão	
			tc (minutos)	tc (segundos)		Q (m³/s)	Q (l/s)
Manual	Plano	A44	0,16	9,51	228,02	0,0230	23,00
CDren®	Plano		0,20	12,00	228,07	0,0220	22,00
Manual	Inclinado		0,10	5,72	229,08	0,0241	24,10
CDren®	Inclinado		0,11	6,60	228,07	0,0232	23,20
Manual	Plano	A45	0,13	7,76	228,51	0,0868	86,83
CDren®	Plano		1,04	62,40	228,07	0,0838	83,80
Manual	Inclinado		0,09	5,11	229,25	0,0909	90,86
CDren®	Inclinado		0,08	4,80	214,97	0,0820	82,00
Manual	Plano	A46	0,15	8,79	228,22	0,0405	40,52
CDren®	Plano		0,14	8,40	228,07	0,0394	39,40
Manual	Inclinado		0,09	5,56	229,12	0,0424	42,43
CDren®	Inclinado		0,05	3,00	228,07	0,0416	41,60
Manual	Plano	A47	0,10	5,80	229,05	0,0118	11,78
CDren®	Plano		1,10	66,00	228,07	0,0108	10,80
Manual	Inclinado		0,06	3,62	229,67	0,0123	12,32
CDren®	Inclinado		0,12	7,20	221,55	0,0052	5,20
Manual	Plano	A48	0,09	5,43	229,16	0,0187	18,65
CDren®	Plano		0,90	54,00	207,65	0,0117	11,70
Manual	Inclinado		0,05	3,28	229,76	0,0195	19,51
CDren®	Inclinado		0,53	31,80	228,07	0,0191	19,10
Manual	Plano	A49	0,04	2,24	230,06	0,0087	8,75
CDren®	Plano		0,08	4,80	206,32	0,0250	5,00
Manual	Inclinado		0,02	1,44	230,28	0,0091	9,13
CDren®	Inclinado		0,06	3,60	228,07	0,0087	8,70

Nota-se em algumas bacias os tempos de concentração encontrados pelo CDren® diferem muito se comparados aos tempos de concentração dos cálculos manuais. Há também que se salientar que para algumas áreas de contribuição não se tem diferença nos tempos de concentração do loteamento plano para o loteamento íngreme, quando se analisa os dados advindos do CDren®, afinal é um mesmo método de cálculo para duas situações diferentes, diferentemente do realizado nos dimensionamentos manuais, em que foi adotado uma equação para cada disposição altimétrica do loteamento, o que pode ser observado nos resultados obtidos em cada bacia.

Já na intensidade média máxima de precipitação para cada bacia, o software apresenta valores na maioria das vezes iguais, não diferindo de bacia para bacia assim como obtido nos

cálculos manuais, em que para cada área de contribuição foi obtido uma intensidade diferente, uma vez que esse dado é inerente ao tempo de concentração de cada área.

O cálculo da intensidade média máxima de precipitação para os cenários obtido por meio de cálculos manuais, foi realizado com os parâmetros hidrológicos da cidade de Formiga - MG, já para uso do CDren®, não se pôde utilizar os parâmetros do modelo IDF para esta localidade, logo, foi adotado os dados hidrológicos da cidade de Bom Sucesso - MG, que dista aproximadamente 150 km de Formiga. Os valores das vazões de escoamento superficial obtidas foram próximos, mostrando diferença relativamente pequena quanto a disposição do loteamento.

A fim de se melhorar a visualização da comparação dos parâmetros hidráulicos de drenagem obtidos, foi calculada a média das alturas da lâmina líquida, velocidade de escoamento nas sarjetas e vazão nos canais das sarjetas de todos os cenários estudados, como pode ser visto na TAB. 5.

Tabela 5 - Comparação da média das alturas de lâmina líquida, velocidade e vazão nas sarjetas.

Fonte	Disposição Altimétrica	Lâmina Líquida média (cm)	Velocidade média nas sarjetas (m/s)	Vazão média nas sarjetas (l/s)
Manual	Plano	9,47	0,41	23,55
CDren®	Plano	5,60	0,72	17,00
Manual	Inclinado	5,36	1,49	49,62
CDren®	Inclinado	6,70	1,40	40,00

Fonte: elaborada pelo autor.

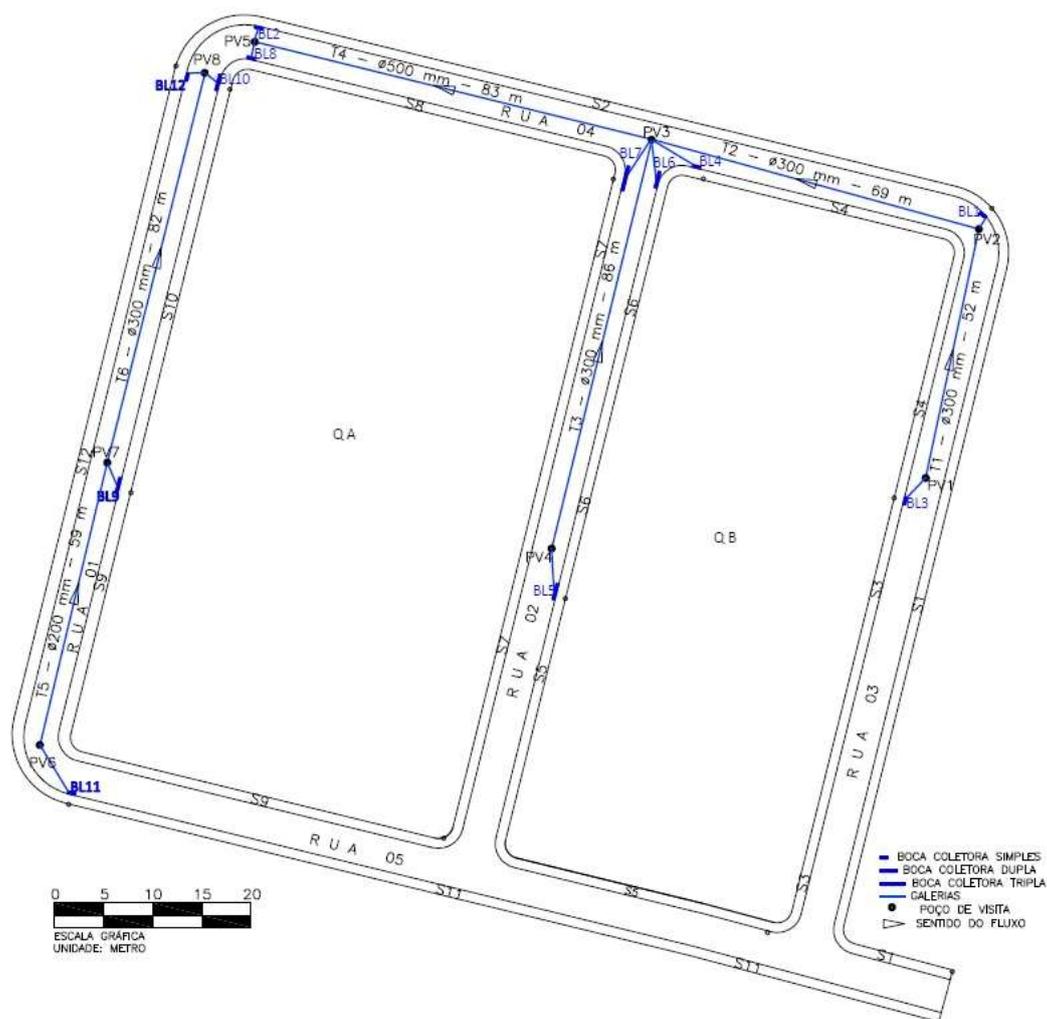
Nota-se que as lâminas líquidas no loteamento inclinado tiveram valores próximos, assim como para o loteamento plano, enquanto que as velocidades de escoamento de água nas sarjetas no loteamento plano foram mais baixas que no loteamento inclinado, em ambas as situações, assim como as vazões médias nas sarjetas que foram menores no loteamento plano, o que confere o correto comportamento do software, afinal a baixa declividade proporciona um escoamento mais lento, diferente do loteamento mais íngreme, onde a declividade deixa a superfície mais propícia ao escoamento nas sarjetas.

Já nos dimensionamentos hidráulicos realizados manualmente, nas bocas coletoras, para o comprimento da soleira tanto no loteamento plano, quanto no íngreme, foi definido um valor fixo de 1,20 m, valor este que é plausível na execução de uma boca coletora, não deixando a largura da mesma tão extensa, e também não a deixando compacta demais.

Foram também calculadas as declividades de cada sarjeta, tendo assim para cada qual um fator de redução aplicado em cada trecho e a maior altura encontrada para a lâmina d'água próxima as guias no loteamento inclinado foi de 0,085 m e no loteamento plano foi de 0,125 m, logo as mesmas alturas representam a pior situação em seus respectivos loteamentos, sendo elas então fixadas para os cálculos das capacidades das bocas coletoras. Realizados os cálculos, foi definido que cada boca coletora no loteamento íngreme deve possuir a capacidade de engolimento de $0,051 \text{ m}^3/\text{s}$ e as bocas coletoras do loteamento plano capacidade de engolimento de $0,085 \text{ m}^3/\text{s}$.

Assim, para o loteamento com topografia mais íngreme, dimensionado sem o auxílio do CDren®, obteve-se seguinte configuração da rede de microdrenagem (FIG.14).

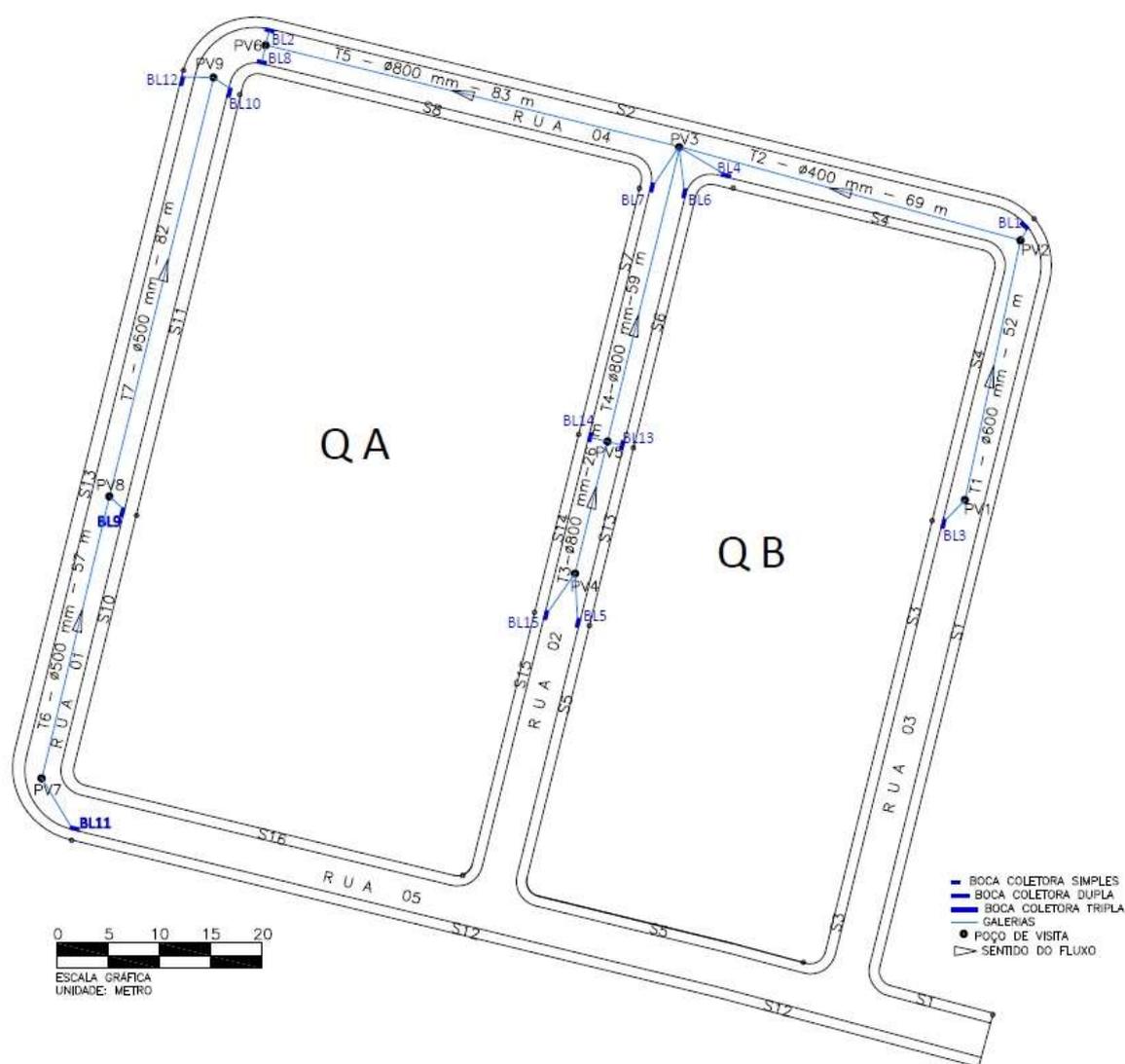
Figura 14 - Representação gráfica da rede de microdrenagem do loteamento com topografia íngreme dimensionada a partir de procedimentos manuais



Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Já para o loteamento plano, foram obtidas vazões das bacias de contribuição relativamente mais baixas, como visto nos resultados hidrológicos, como visto na TAB. 4. O fato da conformação topográfica do loteamento ser plana, oferece declividades longitudinais baixas dos leitos, fazendo com que as lâminas líquidas próximas as guias se apresentassem com maior altura se comparada as alturas do loteamento íngreme, logo, isso leva a locação de mais bocas de lobo e maiores diâmetros das galerias, como pode ser visto na FIG.15.

Figura 15 - Representação gráfica da rede de microdrenagem do loteamento com topografia plana dimensionada a partir de procedimentos manuais



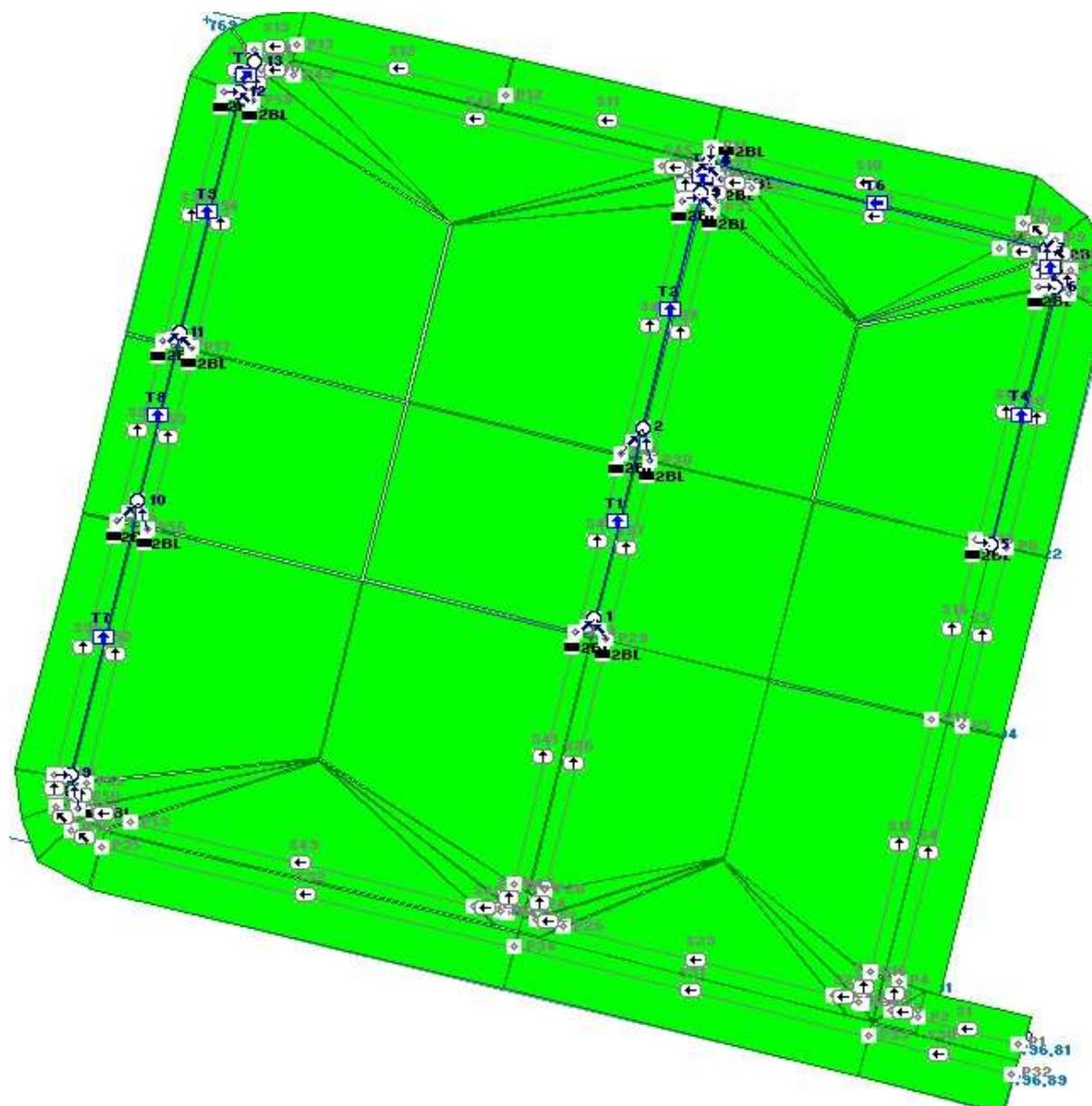
Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

No loteamento com topografia íngreme, o diâmetro máximo para galerias foi de 0,50 m (500 mm), enquanto no plano, devido a sua pouca declividade dos leitos, o diâmetro máximo presente nas galerias foi de 0,80m (800 mm).

Os resultados hídricos no CDren® ofereceram valores não muito diferentes dos manuais, diferindo pouco o traçado da rede e mostrando um comportamento correto do programa diante as situações propostas.

Os resultados do dimensionamento do CDren® no loteamento com disposição altimétrica inclinada é mostrado na FIG. 16.

Figura 16 - Representação gráfica da rede de microdrenagem do loteamento com topografia íngreme dimensionada a partir do uso do software CDren®



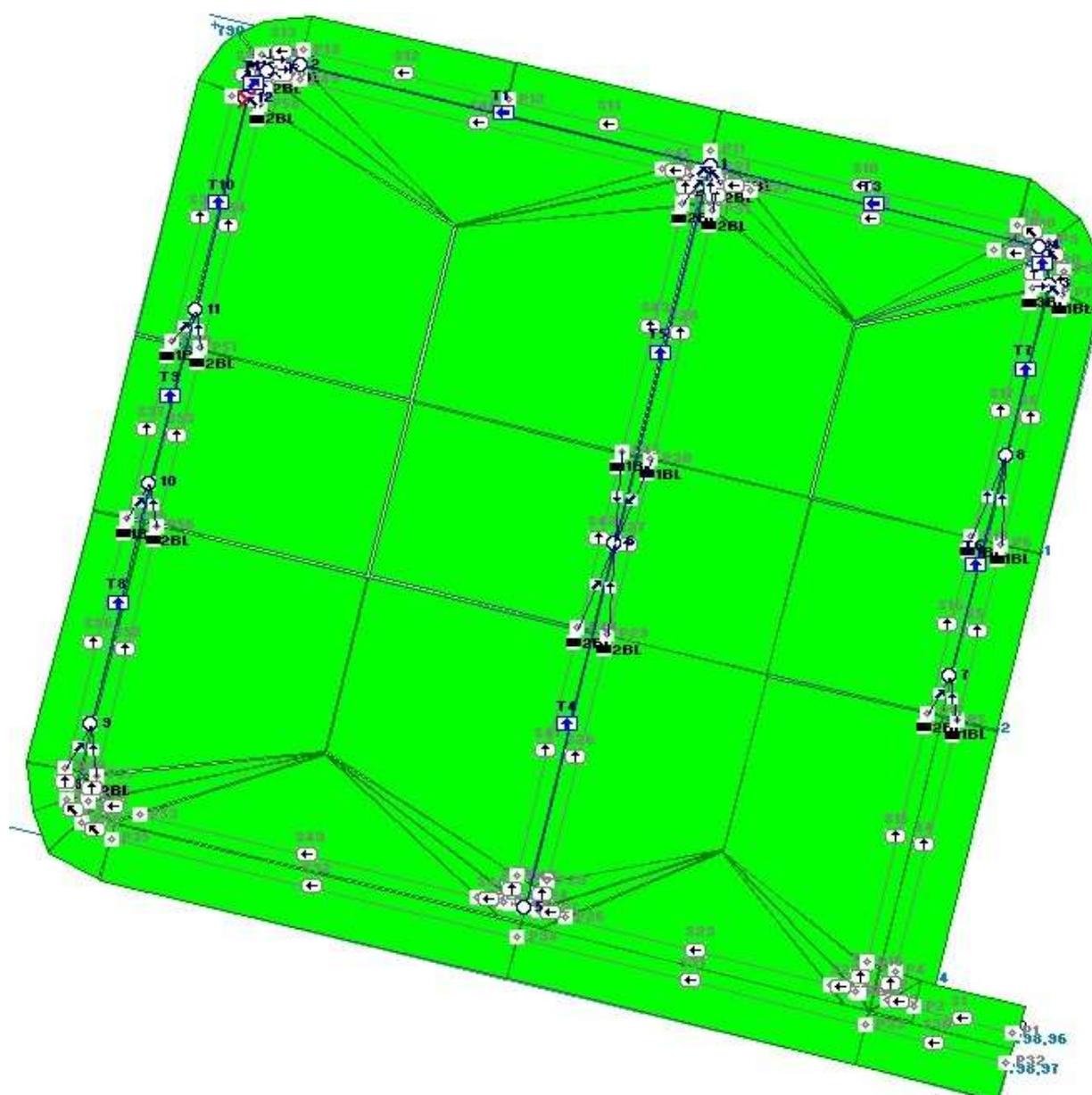
Fonte: CDren® (2002)

No loteamento inclinado, dimensionado pelo CDren® (FIG. 16), é nítida a necessidade de uma maior quantidade de bocas de lobo, a fim de conter toda vazão. As bocas de lobo têm

capacidade de engolimento estimada nos parâmetros de cálculo de 40 l/s até 60 l/s, com base nessa informação, o software indica onde a vazão nas sarjetas podem ocasionar possíveis alagamentos, demandando a locação das mesmas, diferente do dimensionamento manual, onde há um cálculo da capacidade exata de engolimento das bocas de lobo.

O traçado da rede de microdrenagem do loteamento plano calculado pelo CDren® pode ser verificado na FIG. 17.

Figura 17 - Representação gráfica da rede de microdrenagem do loteamento com topografia plana dimensionada a partir do uso do software CDren®



Fonte: CDren® (2002)

No loteamento com topografia plana dimensionado com o uso do software CDren® o traçado da rede foi pouco diferente do dimensionado com procedimentos manuais, principalmente no que concerne à demanda de maior número de bocas coletoras, em relação aos resultados do loteamento inclinado, seja dimensionado manual ou pelo software, devido à pouca declividade, fazendo com que a água não tenha um escoamento efetivo direcionado à coleta, fazendo com que haja uma maior distribuição de bocas coletoras.

No dimensionamento com o uso do software, em ambas as situações do loteamento, os diâmetros das galerias foram fixados em 0,40 m, diferente do dimensionamento manual, onde os diâmetros obtidos foram distintos de acordo com cada situação.

6 CONCLUSÃO

Na pesquisa, foram definidas as mesmas áreas de contribuição para os escoamentos em todas as situações propostas a fim de se ter uma referência uniforme para as comparações dos resultados hidrológicos, onde se nota o correto comportamento do software, tendo em referência os resultados manuais.

Os resultados dos dimensionamentos da microdrenagem feitos manualmente feitos com base na literatura, sendo calculadas vazões, velocidades de escoamento, lançadas as bocas coletoras e galerias, provando a veracidade dos propósitos das fórmulas usadas para cada situação. Os resultados do software, foram próximos dos resultados manuais, o que lhe confere o funcionamento harmonizado com os dimensionamentos apoiados na literatura.

Enfim, os resultados se comparados entre os meios de cálculo, ou seja, manual e pelo software, não mostraram tamanhas diferenças, porém se comparados entre as situações altimétricas diferentes entre os loteamentos, estes sim diferem de maneira mais nítida nos resultados hidrológicos e hídricos, independente do meio utilizado para os cálculos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABTC. **História da Pesquisa dos Valores do Coeficiente de Manning**. Associação Brasileira dos Produtores de Tubos de Concreto. 10 p. 2004;
- ANA - Agência Nacional De Águas. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. p.38. Brasília, 2002. Disponível em:
<<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2002/AEvolucaoDaGestaoDosRecursosHidricosNoBrasil.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017;
- BORGES, G. M. R. e THEBALDI, M. S. **Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil**. Rev. Ambient. Água [online]. 2016, vol.11, n.4, pp.891-902. Disponível em:
< <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v11n4/1980-993X-ambiagua-11-04-00891.pdf>>.
Acesso em: 07 nov. 2017;
- CARVALHO, D. F.; MELLO J. L. P.; SILVA, L. D. B. 2007. **IT 115 - Irrigação e Drenagem**. Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, 2007. p. 11-14.
- CREA - MG – Conselho Regional De Engenharia e Agronomia. **Termo De Cooperação Técnica - Nº. 016/ 2012 - CREA/MG E FUNASA - Capacitação de Técnicos e Gestores para Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em:
<<http://www.creamg.org.br/Funasa/Documents/Modulo%20I/Apresenta%C3%A7%C3%B5es%20M%C3%B3d.%20I/2.SEGUNDA-FEIRA/1%20-%20Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20PMSB.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2017;
- CULTURAMIX, 2014**. Importância e o Ciclo da Água. Disponível em:
<<http://meioambiente.culturamix.com/recursos-naturais/importancia-e-o-ciclo-da-agua>>. Acesso em: 14 mar. 2017;
- DNIT. **Manual de Hidrologia Básica Para Estruturas de Drenagem**. 2ª. Ed. Departamento Nacional de Infra - estrutura e Transporte. 117p. Rio de Janeiro, 2005;
- FCTH. Fundação Centro Tecnológica De Hidráulica. **CDren® – Manual do Usuário**. 2002.
- FUNASA. **Manual de Saneamento – Normas e Diretrizes**. 3ª. Ed. rev. 1ª Reimpressão – Fundação. 408p. Nacional de Saúde, 2006;
- IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008;
- KIMURA, A. E. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais**. Editora PINI, 632 p. São Paulo, 2007;
- LIMA, J. P. 2010. **Hidrologia Urbana - Conceitos Básicos**. 1.ed. Portugal: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos - Universidade de Coimbra, 2010. p. 1;

MAIA, D. C. **Impactos Pluviais Na Área Urbana De Ribeirão Preto - SP**. 2007. p.95. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 2007.

MINIKOWSKI, M.; MAIA, A. G. **Revista Acadêmica, Ciências Agrárias Ambientais - Sistemas De Aproveitamento De Água De Chuva No Município De Irati (PR)**. 2009. p.182. Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati – PR, 2009;

PAZ, A.R. **Hidrologia Aplicada**. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul , Caxias Do Sul, v.1, p. 11, 2004.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes Básicas Para Projetos De Drenagem Urbana No Município De São Paulo**. p.8. 1999. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2017;

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes De Projetos Para Macrodrenagem – DP-H16**. São Paulo, 1999;

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor De Drenagem Urbana - Manual de Drenagem Urbana**. v.6. p.15. 2005. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2017;

RAMOS, V. M. et. al. **Avaliação de Metodologias de Determinação do Cálculo de Áreas de Contribuição** - Revista Brasileira de Geomorfologia. Ano 4, Nº 2, p. 41-49, 2003;

SAGARA, F. T. **Estudo Hidrológico De Uma Pequena Bacia Hidrográfica Experimental No Município De General Carneiro-PR, Através De Monitoramento E Modelagem**. 2001. p.6. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SANTOS JÚNIOR, V.J. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria - Avaliação da fragilidade no sistema de drenagem pluvial urbana: o caso da bacia hidrográfica do córrego das Melancias em Montes Claros – MG**. Universidade Federal De Santa Maria, Santa Maria - RS, 2014;

SILVEIRA. A. L. L. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais** - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V. 10. Nº 2, p. 5-23, 2005; **SIMPEP – SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, nº 12, 2006, Bauru – SP**. Aplicação de tecnologia de informação no setor da construção civil. Bauru, 2006. Disponível em: < http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/334.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2017;

SOUZA, J. C. B. **A Influência Do Método De Escolha Do Parâmetro “c” Na Determinação De Equações De Chuvas Intensas**. 2014. p.13. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2014;

TOLEDO, R.; ABREU, A. F.; JUNGLES, A. E. **A difusão de inovações tecnológicas na indústria da construção civil**. Em: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Bahia: ANTAC, 2000;

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2001. p. 35.

TUCCI, C. E. M. 2008. **Estudos Avançados**. 2008. p.108-109. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>>. Acesso em: 12 abr. 2017;

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p. Brasília, 2012; e

TUCCI, C. E. M. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: Aspecto tecnológico: diretrizes para projetos**. Prefeitura Municipal de São Paulo, SMDU. São Paulo, 2012;