



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

REGINALDO DA ROCHA DANTAS AZEVEDO

CANAL DO PEDREGAL: UM ESTUDO DE EFICIÊNCIA HIDRÁULICA

CAMPINA GRANDE

2018

REGINALDO DA ROCHA DANTAS AZEVEDO

CANAL DO PEDREGAL: UM ESTUDO DE EFICIÊNCIA HIDRÁULICA

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

Orientador: Professor Dr. Ricardo de Aragão

CAMPINA GRANDE - PB

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for entering cataloging data. It occupies the lower half of the page.

FOLHA DE APROVAÇÃO

REGINALDO DA ROCHA DANTAS AZEVEDO

CANAL DO PEDREGAL: UM ESTUDO DE EFICIÊNCIA HIDRÁULICA

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

Aprovado em ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

_____ Nota _____

Doutor – Ricardo de Aragão – UFCG
(Presidente - Orientador)

_____ Nota _____

Doutora – Andrea Carla Lima Rodrigues - UFCG
(1º Examinador)

_____ Nota _____

Mestre – Renata Travassos de Araújo - UEPB
(2º Examinador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por me permitir tantas realizações.

A minha esposa, Adriana da Silva Azevedo Dantas, por ser minha fortaleza, por estar sempre disponível para me auxiliar sempre que necessitei e apoiar-me incondicionalmente.

Aos meus filhos, Lucas Khalil e Thales Cauê, por serem minhas fontes de energia e inspiração e por compreenderem, apesar da pouca idade, todas as minhas ausências para dedicar-me aos estudos.

Aos meus pais, Severino e Maria Ivonete, que, quando diziam aos amigos que teriam um filho engenheiro, não imaginavam o quanto me fortaleciam.

A todos os meus professores e professoras que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado, crescimento pessoal e profissional, em especial a meu professor e orientador Doutor Ricardo de Aragão, pela dedicação e principalmente pela paciência.

Agradeço também a todos que contribuem para que a UFCG possa oferecer a sociedade um serviço de qualidade reconhecida nacional e internacionalmente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O ciclo hidrológico.....	12
Figura 2: Hidrograma de um modelo chuva-vazão.....	24
Figura 3: Caracterização da bacia no IPHS1.....	24
Figura 4: Cidade de Campina Grande.....	25
Figura 5: Mapa do bairro do Pedregal e suas fronteiras	26
Figura 6: Bairro do Pedregal no início da ocupação.....	26
Figura 7: O bairro do Pedregal e a ausência de lógica na disposição dos quarteirões.....	28
Figura 8: Bacia de contribuição do canal do Pedregal	30
Figura 9: Divisão das sub-bacias de contribuição do canal do Pedregal.....	31
Figura 10: Caracterização do trecho 1A do canal no IPHS1.....	36
Figura 11: Situação atual do leito do canal em um dos trechos	43
Figura 12: Parede do canal totalmente destruída em um dos trechos.....	43
Figura 13: Trecho onde a prefeitura iniciou a elevação das paredes do canal	44
Figura 14: Muros das casas construídos sobre a parede do canal	44
Figura 15: Presença de resíduos sólidos no entorno e dentro do canal.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores do coeficiente C	19
Tabela 2: Valores de C adotados pela Prefeitura de São Paulo.....	19
Tabela 3: Informações do canal do Pedregal.....	29
Tabela 4: Tempos de concentração (t_c) das sub-bacias.	32
Tabela 5: Coeficientes da equação da curva IDF para Campina Grande.	32
Tabela 6: Tempo de retorno para sistemas urbanos	34
Tabela 7: Dados referentes a cada trecho do canal.....	36
Tabela 8: Intensidades para os períodos de retorno, 2, 5,10, 25,50 e 50 anos.....	37
Tabela 9: Laminas de chuva (h) para $T_r = 2$ anos.....	37
Tabela 10: Laminas de chuva para $T_r = 5$ anos.....	37
Tabela 11: Laminas de chuva para $T_r = 10$ anos.....	38
Tabela 12: Laminas de chuva para $T_r = 25$ anos.....	38
Tabela 13: Laminas de chuva para $T_r = 50$ anos.....	38
Tabela 14: Características das sub-bacias	39
Tabela 15: Vazões máximas de entrada em cada trecho.	39
Tabela 16: Vazões máximas de saída em cada trecho.....	40
Tabela 17: Vazões máximas para “n” igual a 0,018.....	40
Tabela 18: Comparação entre a altura atual e a altura calculada.....	41
Tabela 19: Comparação entre as vazões para o CN estimado e o CN calculado.....	42

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	OBJETIVOS.....	11
1.1.1	Objetivo geral.....	11
1.1.2	Objetivos específicos.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	O ciclo hidrológico.....	11
2.2	Precipitação.....	12
2.3	Escoamento superficial.....	13
2.4	A bacia hidrográfica.....	14
2.5	A urbanização.....	16
2.6	Vazões máximas.....	18
2.7	Drenagem urbana.....	20
2.8	Modelos de transformação chuva-vazão.....	23
3	ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.1	A cidade de Campina Grande.....	25
3.2	O bairro do Pedregal.....	25
3.3	Bacia hidrográfica do canal do Pedregal.....	28
4	METODOLOGIA.....	29
4.1	Caracterização da bacia do canal do pedregal.....	29
4.2	Aplicação do modelo chuva vazão IPHS1.....	34
5	RESULTADOS.....	37
5.1	Resultados numéricos.....	37
5.2	Diagnóstico das condições estruturais atuais do canal.....	42
6	CONCLUSÕES.....	46
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

RESUMO

A forma como o solo é utilizado pode variar muito com o tempo. Com o crescimento da população surge a necessidade da urbanização. Essa urbanização se torna um problema quando ela se dá de forma desordenada, pois as construções são executadas sem obedecer a normas básicas como taxa de ocupação e de impermeabilização do solo. Projetos de drenagem urbana que são dimensionados a partir deste uso podem ficar ultrapassados e dessa forma perderem sua eficiência. O bairro do Pedregal, em Campina Grande, possui um canal que drena a água produzida pela bacia, conhecido como o canal do Pedregal. Este foi construído há mais de trinta anos, e durante esse tempo o bairro do Pedregal passou por alguns processos de urbanização os quais tornaram o solo bem mais impermeável, aumentando o volume escoado sobre a bacia drenada pelo canal. Diante do exposto, o presente trabalho tem o objetivo de verificar as condições de eficiência hidráulica do canal do Pedregal em face à urbanização que ocorreu no seu entorno ao longo do tempo, a forma como os moradores usam o canal e fazer um diagnóstico das condições estruturais atuais. Para isso, foram efetuadas visitas de campo para constatar a real situação do canal e fazer registros fotográficos, e para observar *in loco* o sentido do escoamento da água para efetuar as subdivisões da bacia; consulta à Secretaria Municipal de Planejamento para coleta de dados e a partir de então a aplicação do modelo chuva-vazão IPHS1 considerando diferentes cenários de uso e também diferentes chuvas de projeto. Os resultados mostram que na condição atual alguns trechos do canal transbordam mesmo para um período de retorno de 5 anos.

Palavras chave: Drenagem urbana, Período de retorno, Águas pluviais.

ABSTRACT

The way the soil is used can vary greatly over time. With the population growth, the need for urbanization arises. This urbanization becomes a problem when it occurs in a disorderly way, because the constructions are executed without obeying basic norms such as occupation rate and soil waterproofing. Urban drainage projects that are dimensioned from this use can be outdated and thus lose their efficiency. The neighborhood of Pedregal, in Campina Grande, has a canal that drains the water produced by the basin, known as the Pedregal canal. This was built more than thirty years ago, during which time the neighborhood of Pedregal went through some urbanization processes which made the soil much more impermeable, increasing the volume drained over the basin drained by the canal. In view of the above, the present work has the objective of verifying the hydraulic efficiency conditions of the Pedregal canal in the face of the urbanization that has occurred in its surroundings over time, the way the residents use the canal and make a diagnosis of the structural conditions current. For this, field visits were made to verify the actual situation of the canal and to make photographic records, and to observe the flow direction of the water in order to effect subdivisions of the basin; consultation to the Municipal Planning Department for data collection and from then on the application of the rainfall-IPHS1 model considering different scenarios of use and also different design rains. The results show that in the current condition some parts of the channel overflow even for a return period of 5 years.

Key words: Urban drainage, Return period, Rainwater.

1 INTRODUÇÃO

A urbanização intensa, devida ao crescimento populacional dos últimos anos, e o desenvolvimento das cidades sem o devido planejamento e sem preocupação efetiva em controlar a forma como o solo vem sendo ocupado tem causado impactos muito grandes nos processos hidrológicos que ocorrem nas bacias urbanas.

Cada vez mais as zonas urbanas vêm sendo impermeabilizadas através de pavimentação das ruas, das praças e dos espaços públicos, o que diminui significativamente a possibilidade de infiltração das águas das chuvas, aumentando, conseqüentemente, os volumes dos escoamentos superficiais e causando diminuição do tempo de propagação da água nas ruas e nos canais.

Segundo Miguez (2015), o crescimento das cidades resulta no incremento da área impermeabilizada do solo, alterando a hidrologia e o clima local, entre outros aspectos. O processo de urbanização, ao modificar os padrões de uso do solo, geralmente acaba por agravar as enchentes urbanas, devido a maior disponibilização de escoamentos superficiais. A remoção da vegetação natural, a impermeabilização das vias sem o devido controle, a redução das áreas naturais de retenção pela regularização do terreno e a eventual ocupação das áreas marginais aos rios são algumas das inúmeras ações críticas para a drenagem de uma bacia.

Para Tucci (2005), o crescimento urbano nos países em desenvolvimento tem sido realizado de forma insustentável, com deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente. Esse processo é ainda mais significativo na América Latina, onde a população urbana é 77% do total (47,2% no globo). Existem 44 cidades na América Latina com população superior a 1 milhão de habitantes. Cerca de 16 megacidades (acima de 10 milhões de habitantes) formaram-se no final do século XX, representando 4% da população mundial, das quais pelo menos quatro estão na América Latina, representando mais de 10% da população da região.

Esse crescimento urbano também ocorreu na cidade de Campina Grande. De acordo com o IBGE a população da cidade passou de 344.730 habitantes em 1996 para uma estimativa de 410.332 habitantes em 2017, isso aumentou a demanda por moradia e, conseqüentemente, uma elevação no custo de unidades habitacionais. Essa valorização dificultou ainda mais a aquisição de moradia por parte da população mais carente. Diante da falta de políticas públicas, essas famílias foram ocupando lugares que não são destinados para este fim, colocando em risco a sua saúde e integridade física.

Todos os anos, durante a estação chuvosa, se vê nos noticiários locais os problemas causados pelas chuvas como: deslizamento de encostas, desabamentos de residências, ruas, bairros inteiros inundados, causando prejuízos à população e aumentando significativamente a demanda em hospitais e demais serviços de saúde, devido a doenças de veiculação hídrica. Nestas ocasiões, os sistemas de drenagem muitas vezes não funcionam a contento, porque estão subdimensionados, desgastados ou estão obstruídos por resíduos sólidos indevidamente depositados pelos moradores, causando redução da capacidade de vazão.

O bairro do Pedregal, em Campina Grande, surgiu na década de 70 a partir de uma invasão, onde um grupo de pessoas ocupou uma propriedade privada dando origem a um dos maiores conflitos por moradia na cidade. Depois de muita luta as pessoas conseguiram o direito de ocupar aquela área dando origem ao bairro.

O bairro do Pedregal passou por um processo de urbanização e no local onde havia um córrego natural foi construído o canal do Pedregal para drenar a água produzida pela bacia. Depois de alguns anos outras áreas do bairro foram sendo ocupadas e ocorreram novas urbanizações que aumentaram consideravelmente as áreas impermeáveis da bacia aumentando mais ainda o volume de água produzido.

Esse aumento no escoamento superficial vem causando alguns problemas nos últimos anos. Segundo relatos dos moradores o canal vem transbordando com certa frequência sempre que chove um pouco mais forte.

O fato de alguns famílias terem ocupado as margens do canal agrava a situação. No dia 14 de fevereiro do ano 2000 ocorreu em Campina Grande uma chuva de 39 mm, que provocou o transbordamento do canal do Pedregal, causando a morte de pelo menos duas pessoas que residiam na rua do canal e foram arrastadas pelas águas. Apesar de fazer 18 anos o risco continua, pois não houve nenhuma medida para evitar que essa tragédia se repetisse.

Diante de tudo isso surge a necessidade de verificar a real capacidade de vazão do canal, depois de tantos anos sem manutenção, e o volume de água produzido pela bacia, que depois dos processos de urbanização ficou ainda mais impermeável aumentando o volume produzido, ou seja, uma chuva de menor total precipitado pode causar uma tragédia ainda maior.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência hidráulica do canal do Pedregal, para as condições estruturais atuais e diferentes cenários de uso na bacia e de chuvas de projeto.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar as alterações do uso do solo no bairro do Pedregal;
- b) Conhecer o volume produzido pela bacia;
- c) Verificar a capacidade de vazão do canal;
- d) Determinar as dimensões ideais para as paredes do canal;
- e) Verificar o uso do canal pelos moradores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CICLO HIDROLÓGICO

Segundo Tucci (2001), o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

Ainda, segundo Tucci (2005), o ciclo hidrológico só é fechado a nível global, pois para ele, à medida que se considere áreas menores de drenagem, fica caracterizado o ciclo hidrológico como um ciclo aberto ao nível local. Isso explica o fato de algumas regiões choverem muito mais que o esperado para o período e outras regiões sofrerem com secas intensas.

Quando atingem a superfície, as águas precipitadas podem seguir diferentes caminhos. Infiltrar no solo possibilitando a formação de aquíferos, ou ressurgir na superfície formando nascentes, fontes, pântanos, ou alimentar rios e lagos. Pode evaporar, retornando à atmosfera, essa evaporação acontece também em função da transpiração das plantas, é o que recebe o nome de evapotranspiração. Pode congelar e formar as camadas de gelos nos cumes das montanhas e geleiras. Quando a precipitação supera a capacidade de infiltração do solo ocorre

o escoamento da água sobre a superfície, resultando no que chamamos de escoamento superficial. Apesar de classificada como água superficial, subterrânea ou atmosférica, trata-se da mesma água em condições diferentes, por exemplo, a água que precipita já esteve no subsolo, em icebergs, passou por rios e oceanos, ou seja, a água está sempre em movimento e em constante renovação. A Figura 1 ilustra esse processo.



Fonte: logicambiental (2017)

O ciclo hidrológico como descrito acima é o que ocorre em lugares que não sofreram modificações devido à ação humana. Segundo Montero (2016), para se ter uma visão mais realística do ciclo hidrológico, deve-se considerar que a impermeabilização do solo e a ausência de cobertura vegetal aumentam o escoamento superficial e reduzem a infiltração da água no solo, favorecendo a ocorrência de inundações, assim como a redução da absorção da água pelo solo, o que influencia negativamente a recarga do lençol freático.

Das fases do ciclo hidrológico a precipitação, que serve de base para este trabalho, será retomada mais adiante, pois é ela que gera o escoamento superficial.

2.2 PRECIPITAÇÃO

Segundo Tucci (2001), a precipitação é entendida em hidrologia, como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo,

saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. O que diferencia essas formas de precipitações é o estado em que a água se encontra. As principais características das precipitações são intensidade, duração e a distribuição temporal e espacial, O total precipitado não diz muita coisa se não estiver ligado a uma duração, pois 100 mm de chuva pode ser muito ou pouco dependendo da sua distribuição no tempo, ou seja, é muito para um dia ou uma hora, mas é pouco para um mês ou uma semana.

A quantidade de chuva é expressa pela altura (h) de água que cai e acumula em uma superfície plana e impermeável, utilizando medidas tomadas em pontos previamente escolhidos, através de equipamentos chamados pluviômetros ou pluviógrafos. O pluviômetro é um recipiente de volume suficiente para conter as maiores precipitações dentro do intervalo de tempo definido para a frequência das observações (Tucci, 2001). Já o pluviógrafo é um equipamento automático que permite medir e registrar as intensidades das chuvas durante intervalos inferiores aos obtidos com as observações manuais feitas nos pluviômetros.

A unidade da lamina de chuva é o milímetro (mm), cada milímetro de chuva acumulado numa área de 1 m² representa 1 litro de água.

Como já foi visto anteriormente, quando atinge o solo a precipitação pode seguir vários caminhos. Aqui será tratado o escoamento superficial, que se inicia quando o solo fica saturado e perde a capacidade de infiltração.

2.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para Villela (1975), das fases básicas do ciclo hidrológico, talvez a mais importante para o engenheiro seja a do escoamento superficial, que é a fase que trata da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. O escoamento superficial pode ser definido como o excesso de precipitação que se desloca livremente, impulsionada pela gravidade, das cotas mais altas para as mais baixas do terreno, podendo formar um rio, que é alimentado tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas que afloram na superfície.

Ainda para Villela (1975), o escoamento superficial sofre a influencia de diversos fatores que facilitam ou prejudicam a sua ocorrência. Estes fatores podem ser de natureza climática, relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica ligadas às características físicas da bacia.

Pode-se destacar, nos fatores climáticos, a intensidade e a duração, quanto maior a intensidade da precipitação, mais rápido o solo atinge o ponto de saturação e perde a capacidade de infiltração, iniciando assim, o escoamento superficial.

A duração também influencia, pois para uma chuva de intensidade constante quanto maior a duração, maior será o escoamento na superfície.

Outro fator que também influencia o escoamento superficial é a precipitação antecedente, uma vez que o solo já estará úmido ou até mesmo saturado, facilitando o escoamento. Já os fatores fisiográficos que mais influenciam no escoamento são a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração, e a topografia da bacia.

A influência da área é fácil perceber, pois quanto maior a área de uma bacia, maior será o volume escoado. A permeabilidade está diretamente ligada à capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável o solo maior sua capacidade de absorver água, isso diminui o excesso de precipitação, por isso a importância de se controlar o uso do solo. Existem outros fatores que influenciam no escoamento, mas não são importantes para este estudo.

As principais grandezas que caracterizam o escoamento superficial são: vazão (Q), coeficiente de escoamento superficial (C), tempo de concentração (t_c), período de retorno (T) e nível d'água (h). Para o cálculo do escoamento superficial é necessário conhecer a precipitação efetiva, parcela do total precipitado que gera o escoamento superficial, de onde se retiram os volumes evaporados, retidos nas depressões e os volumes infiltrados.

Conforme já foi visto, a permeabilidade da bacia influencia diretamente no processo de escoamento superficial, pois quanto mais impermeável o solo estiver maior será o escoamento superficial. Dependendo das características da bacia hidrográfica esse aumento de escoamento pode passar a causar inundações.

2.4 A BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, também chamado de exutório. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 2001). A bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor, assim designado por ser a linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias

vizinhas e que encaminha o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial (VILLELA, 1975).

Para os estudos de drenagem urbana, onde, em geral, as bacias hidrográficas são de pequeno ou médio porte é muito importante que se disponha de critérios de distinção para que possibilite escolher os métodos e parâmetros mais adequados para cada tipo de bacia.

Segundo Tucci (2001), a distinção entre esses tipos de bacia será sempre imprecisa e dependente de certo grau de subjetividade, dada a natural variação dos parâmetros que influem no comportamento hidrológico da bacia. Os critérios mais comuns, entretanto, classificam como bacia pequena aquela cuja área de drenagem seja inferior a 2,5 km² ou tempo de concentração inferior a 1 hora. Para bacias médias os limites superiores são, respectivamente, 1000 km² e 12 horas.

Outras características das bacias hidrográficas como o fator de forma e índice de compacidade, são muito importantes. Esses fatores indicam o quanto uma bacia está ou não sujeita a enchentes.

O fator de forma, K_f , é a relação entre a largura média da bacia e o seu comprimento axial. Mede-se o comprimento da bacia (L) quando se segue o curso d'água mais longo desde a desembocadura da bacia até a cabeceira mais distante na bacia. A largura média (L_m) é obtida quando se divide a área pelo comprimento da bacia (VILLELA, 1975).

$$K_f = \frac{L_m}{L}, \text{ mas } L_m = \frac{A}{L}, \text{ portanto: } K_f = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

Uma bacia com fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma.

Já o coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius, K_c , é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (VILLELA, 1975).

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Quanto mais próximo da unidade o valor de K_c maior a tendência para maiores enchentes.

Dos processos antrópicos, a urbanização é o que mais altera o uso do solo e as características da bacia, pois quando uma área é urbanizada ela é quase totalmente impermeabilizada, o que transforma quase toda a chuva em escoamento superficial, aumentando rapidamente o nível de rios e canais. Muitas vezes lugares que não tinham problemas com inundação passam a ter por conta da urbanização de regiões a montante da bacia hidrográfica.

2.5 A URBANIZAÇÃO

Apesar de a urbanização ser um processo que traz muitos benefícios à população, trazendo praticidade ao seu dia a dia, ela também pode acarretar situações bastante desagradáveis, afetando diretamente a qualidade de vida das pessoas.

Para Tucci (2008), o meio formado pelo ambiente natural e pela população é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados, que sem controle pode levar a cidade ao caos. Muitas das consequências indesejáveis estão relacionadas a problemas ambientais, dentre as quais se destacam as inundações e a poluição dos cursos d'água.

Segundo Tucci (2001), as consequências da urbanização que mais interferem com a drenagem urbana são as alterações do escoamento superficial direto. Para os casos extremos, verifica-se que o pico de cheia numa bacia urbanizada pode chegar a ser seis vezes maior do que o pico nesta mesma bacia em condições naturais. Existem também consequências da urbanização sobre o clima, porém de pequena escala, mas podem, em longo prazo, introduzir alterações significativas no balanço hídrico, com impactos inclusive sobre a qualidade das águas.

Ou seja, a urbanização causa aumento no escoamento superficial, diminuição do tempo de concentração e conseqüentemente aumento das vazões máximas das bacias.

Mas Tucci (2001) diz que a urbanização tem também consequências não hidrológicas, que interferem significativamente nas questões de drenagem urbana, principalmente se forem consideradas as condições brasileiras das últimas décadas, marcadas pelo crescimento acelerado e caótico das populações urbanas. Os impactos mais importantes são citados a seguir.

Consequências sobre a ocupação do solo:

- a) Proliferação de loteamentos executados sem condições técnicas adequadas;

- b) Ocupação de áreas impróprias (principalmente várzeas de inundação e cabeceiras íngremes);
- c) Proliferação de favelas e invasões
- d) Ocupação extensa e adensada dificultando a construção de canalizações e eliminando áreas de armazenamento.

Essa ocupação extensa e adensada é, muitas vezes, fruto da falta de políticas habitacionais para a população mais carente, que acaba ocupando áreas de risco ou até mesmo invadindo áreas privadas, nas quais constroem suas casas de forma inadequada por falta de conhecimento e também pela necessidade de ocupar ao máximo essas áreas.

Para Motta (2014), a questão da habitação pode ser considerada, na atualidade, um dos principais problemas sociais urbanos do Brasil. Numa perspectiva que concebe o problema da moradia integrado à questão do direito à cidade, é possível perceber que as reivindicações em relação à habitação emergem sob várias facetas: solução para os graves problemas de infraestrutura (saneamento, asfaltamento, etc.), construção de moradias para atender ao número alarmante de famílias sem casa própria e questionamento das obras de urbanização em áreas periféricas e favelas. É importante perceber como os atuais problemas urbanos, em especial aqueles relacionados à habitação, refletem um século de políticas que não consideraram a população mais pobre ou, em alguns períodos, nem existiram. Nesse sentido, torna-se pertinente uma retomada histórica da questão da habitação urbana no Brasil, com destaque para algumas políticas e projetos do Estado para tentar enfrentar essa questão social.

Segundo Vargas (2017), a atual crise político-econômica do Brasil é um produto da imaturidade e da frágil formação política e social de suas elites perdidas em seus interesses imediatistas. Neste momento, mais do que competência técnica, os órgãos de classe e as escolas de engenharia têm a responsabilidade pela formação de cidadãos conscientes de suas atribuições sociais e capacidade crítica para estabelecer respostas e encaminhar soluções. Somente com uma Engenharia consciente de sua função social e comprometida com a formação de engenheiros aptos como cidadãos pode-se entender as implicações da efetiva participação da população no processo de desenvolvimento do país.

2.6 VAZÕES MÁXIMAS

Para o dimensionamento de estruturas de drenagem urbana é necessário se determinar a chuva de projeto baseada em um período de retorno predeterminado. A partir da chuva de projeto se determina as vazões máximas.

Pode-se estimar a vazão máxima com base na precipitação, em métodos que representam os principais processos da transformação da precipitação em vazão e pelo método racional, que engloba todos os processos em apenas um coeficiente, o coeficiente de escoamento superficial (C) que é a razão entre o volume total escoado e o volume total precipitado (TUCCI, 2001).

Para Tucci (2001), o método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas ($\leq 2\text{km}^2$). Os princípios básicos desta metodologia são:

- a) Considera a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração. Ao considerar esta igualdade admite-se que a bacia é suficientemente pequena para que esta situação ocorra, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade. Em bacias pequenas, as condições mais críticas ocorrem devido a precipitações convectivas que possuem pequena duração e grande intensidade;
- b) Adota um coeficiente único de perdas, denominado coeficiente de escoamento (C), estimado com base nas características da bacia;
- c) Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

A equação do método racional é:

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278CIA \quad (3)$$

Onde I = intensidade da precipitação em mm/h; A = área da bacia em km^2 e; C = coeficiente de escoamento. A vazão máxima, $Q_{m\acute{a}x}$, é dada em m^3/s .

Para o cálculo da vazão da bacia é necessário se conhecer a área da bacia, a intensidade da precipitação de projeto e o coeficiente de escoamento da bacia.

A área da bacia pode ser determinada a partir dos divisores topográficos com uso de algum sistema de informação geográfica (SIG).

A intensidade da precipitação pode ser determinada pela curva IDF (intensidade, duração e frequência), que segundo Tucci (2001), pode ser expressa por equações genéricas que têm a seguinte forma:

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \quad (4)$$

Onde i = Intensidade, geralmente expressa em mm/h; Tr = o tempo de retorno, em anos; t = duração da chuva, em minutos e a , b , c e d são parâmetros que devem ser determinados para cada local.

O coeficiente C é baseado em tabelas e tem alguns aspectos subjetivos.

Na Tabela 1 são apresentados valores recomendados pela ASCE (1969). Na Tabela 2 são apresentados valores de C segundo adaptação do critério de Fruhling e utilizados pela prefeitura de São Paulo (TUCCI, 2001).

Tabela 1 – Valores do coeficiente C (ASCE, 1969)

Superfície	C (Intervalo)	Valor esperado
Pavimento		
Asfalto	0,70 – 0,95	0,83
Concreto	0,80 – 0,95	0,88
Calçadas	0,75 – 0,85	0,80
Telhado	0,75 – 0,95	0,85
Cobertura: grama solo arenoso		
Plano (2%)	0,05 – 0,10	0,08
Médio (2 a 7%)	0,10 – 0,15	0,13
Alta (7%)	0,15 – 0,20	0,18
Grama, solo pesado		
Plano (2%)	0,13 – 0,17	0,15
Médio (2 a 7%)	0,18 – 0,22	0,20
Declividade alta (7%)	0,25 – 0,35	0,30

Fonte: Tucci (2001)

Tabela 2 – Valores de C adotados pela Prefeitura de São Paulo (Wilken, 1978)

Zonas	C
Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70-0,95
Edificação não muito densa: Partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 – 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com construções cerradas, ruas 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 arrabaldes 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 (2001)

Com os dados de intensidade, área e coeficiente de escoamento da bacia é possível calcular a vazão utilizando a Equação 3.

A vazão produzida pela bacia hidrográfica precisa ser transportada de forma eficiente pelas estruturas hidráulicas de drenagem urbana que são dimensionadas com base nas vazões máximas para um período de retorno pré-estabelecido.

2.7 DRENAGEM URBANA

A drenagem urbana inicia-se em edificações com os coletores de águas pluviais ligados à rede pública, na drenagem superficial das sarjetas que recebe a parcela superficial das ruas, calçadas, pátios e outras áreas impermeáveis ou permeáveis que geram escoamento superficial. O escoamento proveniente das sarjetas, que entra na rede através das bocas de lobo, e o proveniente dos coletores residenciais são drenados pelos condutos pluviais que alimentam os condutores secundários até os principais sistemas compostos de canais e pequenos rios (arroyos, riachos ou ribeirões) que compõem a macrodrenagem urbana (TUCCI, 2001).

A drenagem urbana é um dos componentes do saneamento básico, que contempla também o abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto e coleta e manejo de resíduos sólidos. Sendo muito importante que todos esses componentes estejam disponíveis para a população, caso contrário, o sistema de drenagem não terá a eficiência para o qual foi dimensionado.

Por exemplo, para Righetto (2009), quando não existe sistema de coleta de resíduos sólidos, há grande chance de uma parcela desse resíduo domiciliar ser lançado na drenagem e outra em terrenos baldios e em aterros clandestinos, estes serão carregados pela chuva e também chegarão ao sistema de drenagem.

Neste caso, contribuem atos deliberados de algumas pessoas ou ações clandestinas de empresas privadas ou mesmo públicas. Se o sistema de varrição de ruas for deficiente, os resíduos descartados nas ruas acabarão sendo transportados pelo escoamento pluvial, com depósito no próprio sistema de drenagem ou em algum corpo de água receptor.

Vale salientar que o depósito de resíduos sólidos em terrenos baldios, canais e galerias é uma triste realidade nos municípios brasileiros mesmo existindo a coleta regular.

Quando não existe sistema de coleta e tratamento de esgoto, certamente, os efluentes domésticos e industriais serão lançados na rede de drenagem e chegarão aos corpos hídricos, causando contaminação e conseqüentemente redução ou extinção de biomas aquáticos.

Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação, gerado pelos efluentes da população urbana, que são o esgoto doméstico/industrial e o esgoto pluvial.

Esse processo ocorre em razão de:

- Despejo sem tratamento dos esgotos sanitários nos rios, contaminando este sistema hídrico.
- O esgoto pluvial transporta grande quantidade de poluição orgânica e de metais que atingem os rios nos períodos chuvosos.
- Contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos, por meio das fossas sépticas, vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial, entre outros.
- Depósitos de resíduos sólidos urbanos, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação.
- Ocupação do solo urbano sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico.

Investimentos para o controle dos efeitos do escoamento superficial é extremamente necessário, Tucci (2005a) apresentou a necessidade de investimento para um Programa Nacional de Águas Pluviais que controlasse os impactos na drenagem e inundação das cidades, e identificou um total de R\$ 21,5 bilhões em 24 anos para solução desses impactos, representando até 0,2% do PIB num ano. Com base nessas estimativas, é possível antever a necessidade de investimentos da ordem de 0,8% do PIB para o saneamento ambiental (sem incluir resíduos sólidos). Essa quantia representaria a ordem de R\$ 16 bilhões por ano em água, esgoto e drenagem para, num horizonte de aproximadamente vinte anos, existir um processo sustentável de desenvolvimento urbano.

Esses investimentos não devem representar apenas as medidas estruturais, pois a drenagem urbana atualmente alcançou um sentido mais amplo, combinando medidas estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema, buscando reduzir o risco de enchentes, pela implantação de obras para conter, reter ou melhorar a condução dos escoamentos. Estas medidas envolvem construção de barragens, diques, canalizações, reflorestamento, entre outros (SUDERHSA, 2002).

Não estruturais são as que incluem ações de convivência com as enchentes ou são estabelecidas diretrizes para reversão ou minimização do problema. Estas medidas envolvem o zoneamento de áreas de inundações associado ao Plano Diretor Urbano, previsão de cheia, seguro de inundação, legislações diversas, entre outros (SUDERHSA, 2002).

Para Tucci (2001), Soluções eficazes de drenagem urbana dependem dos seguintes fatores:

- existência de uma política para o setor que defina objetivos a serem alcançados e os meios (legais, institucionais, técnicos e financeiros) para alcançá-los;

- existência de uma política para ocupação do solo urbano devidamente articulada com a política de drenagem urbana, principalmente no que se refere à ocupação das várzeas de inundação;

- processo de planejamento que contemple medidas de curto, médio e longo prazo em toda bacia, e integre as medidas de drenagem de águas pluviais no complexo maior do ambiente urbano;

- existência de entidade eficiente que domine as tecnologias necessárias, implante obras e medidas, desenvolva atividades de comunicação social, promova a participação pública, estabeleça critérios, aplique leis e normas e, enfim, exerça de forma positiva, a liderança do setor;

- domínio da tecnologia adequada para planejamento, projeto, construção e operação das obras; e

- organização das campanhas de educação e esclarecimento da opinião pública.

A qualidade de vida da população está intimamente ligada à questão da drenagem urbana, influenciando diretamente na saúde, bem-estar e segurança da população. Isso demonstra a importância da implantação de sistemas de drenagem e o quão necessário é que estes sejam bem dimensionados e passem por manutenção e limpeza periodicamente.

O dimensionamento das estruturas hidráulicas é feito com base em uma chuva de projeto, a partir da qual se calcula a vazão da bacia hidrográfica.

Segundo Porto (2006), a fórmula de Manning, Equação 5, é a base para os problemas sobre escoamentos livres.

$$\frac{nQ}{\sqrt{I_0}} = AR_h^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

Onde: n é a rugosidade (“ n ” de Manning), Q é a vazão, I_0 é a declividade de fundo do canal, A é a área molhada e R_h , o raio hidráulico. O raio hidráulico, por sua vez, é a razão entre a área molhada e o perímetro molhado.

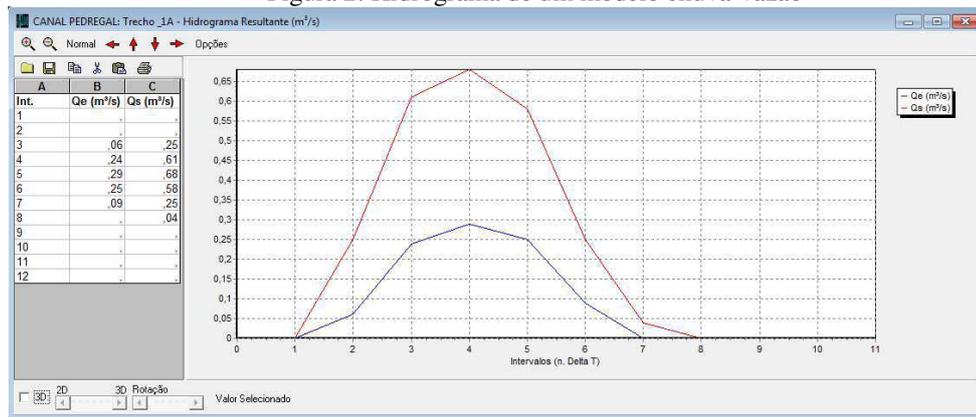
2.8 MODELOS DE TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO

Para o cálculo da vazão podem-se utilizar modelos hidrológicos que calculam a vazão da bacia através da precipitação de projeto, são os modelos hidrológicos de transformação chuva-vazão.

O modelo hidrológico é uma ferramenta que foi desenvolvida para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. A simulação hidrológica é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos, o que tem propiciado o desenvolvimento de um grande número de modelos que se diferenciam em função dos dados utilizados, discretização, das prioridades da representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados (TUCCI, 1998).

Modelos chuva-vazão descrevem a relação entre a chuva e a vazão de uma bacia hidrográfica, quantificando a transformação da chuva em vazão de um curso de água. Esta relação é descrita através de um hidrograma, Figura 2, que mostra a variação da vazão do curso de água no tempo, em um determinado ponto de interesse da bacia. Portanto, tem diversas finalidades práticas para a previsão de cheias, da recarga de reservatórios, da disponibilidade de água para abastecimento urbano ou irrigação, dentre outras (SCHEIDT, 2011).

Figura 2: Hidrograma de um modelo chuva-vazão

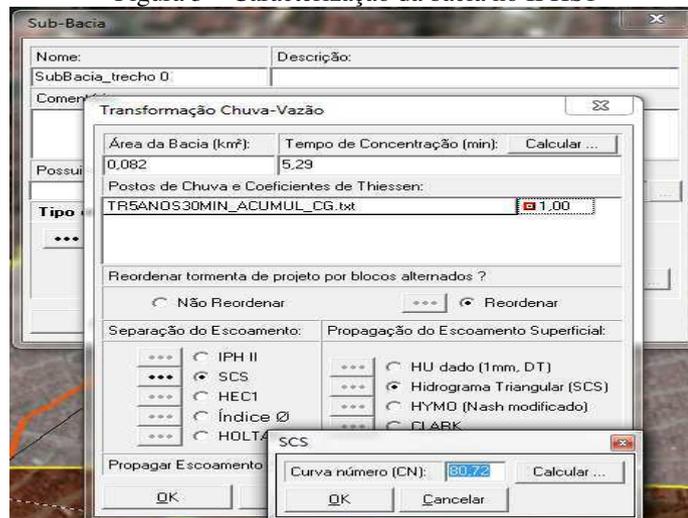


Fonte: Modelo IPHS1 (2018)

O modelo IPHS1 foi desenvolvido por Tucci et al (1989) na versão DOS e apresentada por Viegas et al. (2000) na versão Windows. Consiste de um sistema computacional modulado, composto de vários modelos existentes em literatura que possibilitam a obtenção de hidrogramas de projeto através da combinação de algoritmos possibilitando a composição de um modelo próprio do usuário (SOUZA, 2012).

A Figura 3 exemplifica como as informações são inseridas no modelo IPHS1 para que o mesmo possa fazer a simulação para cada sub-bacia.

Figura 3 – Caracterização da bacia no IPHS1



Fonte: Modelo IPHS1(2018)

3 A ÁREA DE ESTUDO

3.1 A CIDADE DE CAMPINA GRANDE

A cidade de Campina Grande, Figura 4, é um município brasileiro no estado da Paraíba. De acordo com estimativas de 2017, sua população é de 410.332 habitantes, sendo a segunda cidade mais populosa da Paraíba. Considerada um dos principais polos industriais da Região Nordeste bem como principal polo tecnológico da América Latina segundo a revista americana Newsweek (2001), foi fundada em 1 de Dezembro de 1697, tendo sido elevada à categoria de cidade em 11 de outubro de 1864 (CAMPINAGRANDE, 2018).

Campina Grande se encontra numa zona de transição entre os climas do Litoral e do Sertão e, por isso, detém uma alta irregularidade pluviométrica. O clima de Campina Grande é tropical semiárido e a altitude é de 552 metros acima do nível do mar, tem uma área de 594 km² e apresenta em sua área o Bioma Caatinga (IBGE, 2011). Apresenta temperaturas mais amenas durante todo o ano, variando de 16 a 32 °C. A umidade relativa do ar média é cerca de 80%. A precipitação média anual da cidade de Campina Grande é igual a 804,9 mm, com valores mensais concentrados (superiores a 100 mm) durante os meses de março a julho, enquanto o trimestre de menor pluviometria varia de outubro a dezembro (MACEDO, 2011).

Figura 4 – Cidade de Campina Grande.



Fonte: Unifacisa [201?]

3.2 O BAIRRO DO PEDREGAL

O bairro do Pedregal faz fronteira com os bairros: Universitário (Norte), Centenário (Sul), Prata (Leste) e Bodocongó (Oeste), conforme a Figura 5. Apesar de estar localizado a apenas 3 km do centro da cidade e a menos de 1 km da Universidade Federal de Campina

Grande, é um dos bairros mais discriminados e marginalizados do município, com altos índices de violência. Por esta razão, e pelo fato do autor do presente trabalho ter origem nesse bairro e sempre ter percebido o descaso e a falta de infraestrutura, este foi escolhido como área de estudo.

Figura 5 – Mapa do bairro do Pedregal e suas fronteiras.

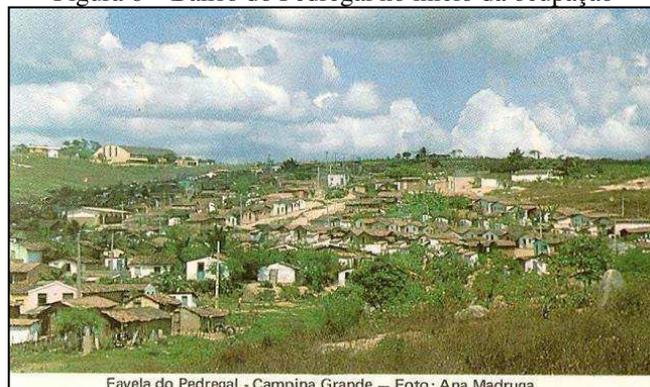


Fonte: Google Earth Pro (2018)

O bairro ocupa uma área de aproximadamente 0,33 km², de acordo com a Prefeitura Municipal de Campina Grande e uma população de 8446 habitantes (IBGE, 2010).

O bairro do Pedregal surgiu por um processo marcado por ocupação irregular do loteamento Nossa Senhora de Fátima, podendo ser considerado, pelo seu significado histórico, como uma das primeiras grandes áreas de conflito e de luta pela demanda de habitação no município, a Figura 6 mostra o Bairro do Pedregal no início da ocupação. Ainda segundo a prefeitura, os primeiros habitantes chegaram por volta de 1975, onde algumas famílias, em número de cinco apenas, resolveram ocupar o loteamento de propriedade privada, nesta época as famílias faziam uso do terreno para plantio da cultura de macaxeira, batata, feijão e milho. O nome Pedregal surgiu do fato da região ter topografia bastante irregular, acidentado e com muitas pedras e pedregulhos (SEPLAN, 2017).

Figura 6 – Bairro do Pedregal no início da ocupação



Favela do Pedregal - Campina Grande – Foto: Ana Madruga

Fonte: Retalhos históricos de Campina Grande [201?]

Já para o site observacampina (2017), a área era bastante rude, em grande parte inóspita mesmo. Terreno fortemente acidentado, com aclives e declives acentuadamente íngremes e com muitas pedras. Cenário e luta guardavam similaridades com os da novela Ovelha Negra, da extinta Rede Tupi que, naquela época, era exibida pela TV Borborema, na qual um dos personagens principais liderava um grupo de pessoas na luta para construir um povoado numa área igualmente inóspita, a que chamavam Santana do Pedregal, afrontando os poderosos da cidade ficcional de Águas de Santana. A ficção guardava pitoresca analogia com a realidade vivenciada aqui. Assim, o nome Pedregal nasceu de modo natural.

Em 1979, quando o loteamento já contava com cerca de 2.000 habitantes, a proprietária moveu uma ação judicial pedindo a remoção dos moradores. Nesta ocasião foi formada uma comissão composta por doze moradores, o grupo dos doze, que com mediação da igreja católica e do pároco local fizeram um movimento de adesão de políticos e movimentos sociais locais, de cunho esquerda, que apoiaram os ocupantes. Essa situação de conflito só foi resolvida quando a área foi reconhecida como de utilidade pública e de interesse social para fim de desapropriação através do Decreto Municipal nº 894/81 de 12 de Agosto de 1981 (SEPLAN, 2017).

Segundo LEMOS (2009), O tecido urbano do bairro do Pedregal é geograficamente denominado como caótico que é característica das áreas ocupadas desordenadamente, onde há ausência de lógica na disposição de quarteirões e traçados das ruas, Figura 7.

O Bairro do Pedregal é muito carente de investimentos públicos, seja na área de infraestrutura ou na área de educação e incentivo à cultura e a arte. Essa falta de investimentos públicos é ainda mais evidente no entorno do canal, onde muitas pessoas vivem de forma precária e até mesmo sub-humana, dividindo o espaço com insetos e animais, expostas a todos os tipos de doenças.

Essa situação coloca boa parte da população numa situação muito grave de risco social, onde as pessoas, principalmente as crianças e os jovens não tem acesso a investimentos públicos, principalmente em áreas de lazer e assistência social, o que vem agravando cada vez mais a situação de violência vivenciada pelos moradores.

O canal, por ser de difícil acesso, acaba sendo o refúgio de gangues e traficantes que se aproveitam dessa característica para se protegerem da ação policial.

Figura 7 – O bairro do Pedregal e a ausência de lógica na disposição dos quarteirões



Fonte: Google Earth Pro, 2018.

3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO CANAL DO PEDREGAL

A bacia hidrográfica em estudo faz parte da bacia do riacho de Bodocongó, formando um afluente do mesmo. A bacia está em uma região de clima equatorial semiárido, com topografia acidentada e solo predominantemente rochoso. Esta área está situada na sub-bacia B-7, em uma área de 7 ha, de acordo com um documento denominado de Plano Diretor de Drenagem do município de Campina Grande (SEPLAN, 2017).

Essa área conta com um canal, o canal do Pedregal, que drena todas as águas pluviais produzidas nessa área, como a bacia tem menos de 1 km², pode-se classificá-la como uma bacia de pequeno porte, portanto, pode-se utilizar o método racional (TUCCI, 2001). Este método é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas, onde a vazão máxima é calculada a partir da intensidade da chuva de projeto.

Uso do solo da bacia é predominantemente residencial, com a maioria das ruas pavimentadas em paralelepípedos e as principais asfaltadas.

O canal do Pedregal foi construído a céu aberto, no local onde existia um córrego natural, recebendo tanto águas pluviais como parte do esgoto doméstico.

Este canal encontra-se dividido em quatro trechos, cujas características físicas estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3- Informações do canal do Pedregal

TRECHO	COMPRIMENTO (m)	DECLIVIDADE (m/m)	VAZÃO (m ³ /s)	SEÇÃO (m ²)
1	330	0,080	0,987	0,80 x 0,74
2	179	0,040	1,5226	1,00 x 0,70
3	210	0,044	2,034	1,20 x 0,80
4	320	0,026	2,302	1,20 x 1,10

Fonte: SEPLAN (2017)

4 METODOLOGIA

Foi realizado levantamento bibliográfico para o embasamento do tema proposto: sistemas de drenagem urbana, com enfoque em macro-drenagem para escoamento superficial.

Foram consultados órgãos relacionados ao planejamento e gestão no município de Campina Grande como a Secretaria de Planejamento e Gestão de Campina Grande (SEPLAN) para coleta de dados e informações sobre a área de estudo.

Foram utilizados mapas plani-altimétricos e hidrográficos para a delimitação da área de contribuição do canal, com a determinação dos divisores topográficos.

Foram efetuadas algumas visitas de campo para constatar a real situação do canal e fazer registros fotográficos para ilustrar as condições atuais do canal e se os moradores fazem uso do canal para destino final de resíduos sólidos.

Foram realizadas observações *in loco* em dias de chuva para verificar o sentido do escoamento da água com o objetivo de efetuar as subdivisões da bacia.

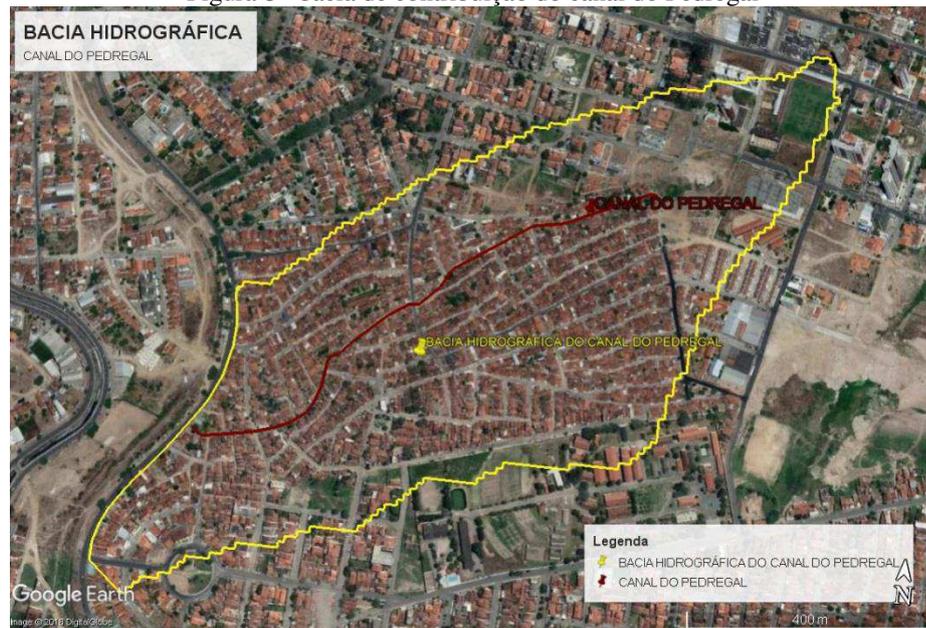
Sendo assim, as informações que foram coletadas, juntamente com a fundamentação teórica obtida pela referência bibliográfica, respaldam a pesquisa, com o conhecimento da realidade e os conteúdos específicos pesquisados.

Para determinar a vazão para cada chuva de projeto e para cenários de uso e ocupação do solo foi utilizado o modelo chuva-vazão IPHS1.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO CANAL DO PEDREGAL

A bacia de contribuição do canal do Pedregal, Figura 8, tem uma área de 0,53 Km² e um perímetro de 4,29 Km.

Figura 8 - bacia de contribuição do canal do Pedregal



Fonte: Google Earth Pro (2018)

O fator de forma, K_f , da bacia hidrográfica do canal do Pedregal é, de acordo com a Equação 1:

$$K_f = \frac{A}{L^2}, \text{ como } L = 1,35 \text{ Km}$$

$$K_f = \frac{0,53}{1,35^2} = 0,29$$

Como a fator de forma da bacia é baixo, ela é pouco sujeita a enchentes.

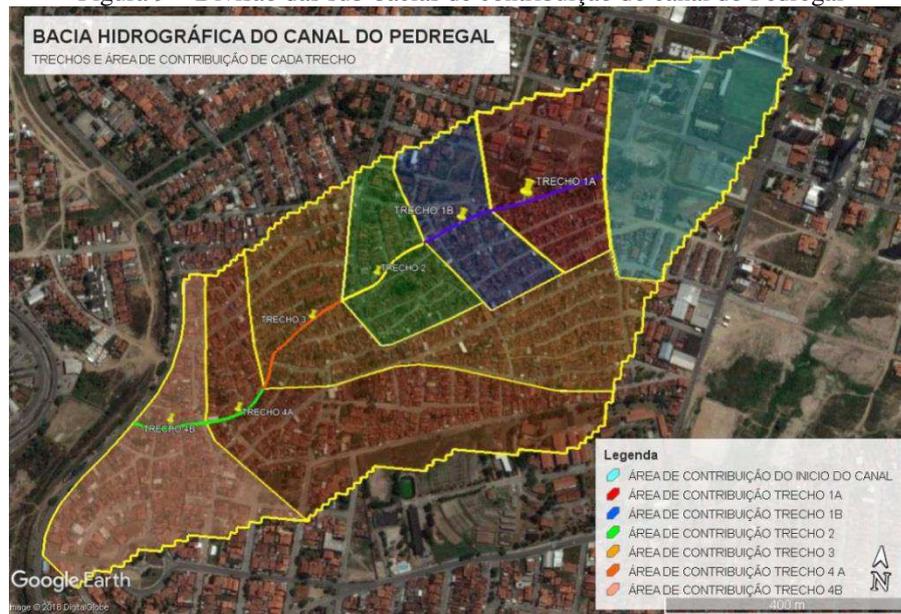
Já o índice de compactidade para a bacia do canal do Pedregal é, de acordo com a Equação 2:

$$K_c = 0,28 \frac{4,29}{\sqrt{0,53}} = 1,65$$

Por esse índice a bacia canal do Pedregal também não é uma área muito sujeita a enchentes.

Para maior detalhamento da bacia ela foi dividida em sub-bacias de acordo com o trecho do canal para o qual ela contribui. A Figura 9 apresenta a forma como a bacia foi dividida em sub-bacias, essas divisões foram feitas partir de perfis topográficos e de observações realizadas no local em dias de chuva.

Figura 9 – Divisão das sub-bacias de contribuição do canal do Pedregal



Fonte: Google Earth Pro (2018)

A atribuição do valor do CN está associada à constituição pedológica da área e ao tipo de ocupação do solo, ou seja, é o CN que caracteriza o uso e a cobertura do solo (CALZAVARA, 2015).

Para o cálculo do número CN foi necessário fazer o levantamento do uso do solo e área de cada sub-bacia. O solo foi classificado como de tipo C que, de acordo com Tucci (2001), são solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo. Para as áreas permeáveis foi escolhido a utilização “baldio em boas condições”, cujo CN, para o solo C, é 74. Já as áreas impermeáveis foram definidas como “zonas residenciais com lotes < 500 m²”, cujo CN é 90.

O tempo de concentração, t_c , foi calculado utilizando-se a fórmula de Kirpich, equação 6 (SUDERHSA, 2002).

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (6)$$

Fazendo o cálculo do tempo de concentração trecho a trecho, tem-se:

Para o trecho “0”:

$L_0 = 392\text{m} = 0,392\text{Km}$, $H_0 = 30\text{m}$

Cota de montante = 572 m, Cota de Jusante = 543 m

$\Delta H_{1A} = 29$ m, logo:

$$t_c(0) = 57 \cdot \left(\frac{L_0^3}{H_0}\right)^{0,385} = 57 \cdot \left(\frac{0,392^3}{29}\right)^{0,385} = 5,29 \text{ min}$$

Os resultados dos tempos de concentração calculados para cada sub-bacia estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempos de concentração (t_c) das sub-bacias

Sub-bacia	t_c (min)
0	5,29
1A	4,16
1B	3,45
2	3,53
3	8,08
4A	8,7
4B	5,08
t_c da bacia	38,29

Fonte: O autor (2018)

O somatório dos tempos de concentração de cada sub-bacia fornece o tempo de concentração da bacia que é 38,29 minutos.

Diante das incertezas da equação de Kirpich, por tratar-se de uma equação empírica, será adotado um tempo de concentração de 30 minutos, já que a equação foi desenvolvida para bacias rurais, que por ter áreas permeáveis tendem a ter tempos de concentração maiores.

Para o calculo das intensidades utiliza-se a equação da curva IDF, Equação 4.

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \quad (4)$$

Para a região de Campina Grande os coeficientes B, n, m e K estão descritos na Tabela 5 e foram estabelecidos por Aragão et al (2000).

Tabela 5 – Coeficientes da equação da curva IDF para Campina Grande

Constantes locais para Campina Grande/Pb			
B	n	m	K
5	0,596	0,227	334

Fonte: Aragão et al (2000)

Ficando a Equação da curva IDF para Campina Grande na seguinte forma:

$$i = \frac{334 \cdot T^{0,227}}{(t + 5)^{0,596}} \quad (7)$$

A partir dessa equação podem-se calcular as chuvas intensas para campina grande. Para isso dividiu-se o tempo de concentração (t_c) em intervalos de 5 minutos, combinando-os com os períodos de retorno (T) de 2, 5, 10, 25 e 50 anos respectivamente.

As intensidades para cada intervalo e para cada período de retorno foram calculadas através da equação da curva IDF acima.

As intensidades para cada período de retorno foram transformadas em lâminas de chuva, segundo a Equação 8.

$$h = i \cdot \frac{t}{60} \quad (8)$$

Onde i é intensidade em mm/h e t é o tempo de concentração em minutos.

A escolha de um período de período de retorno muito grande não garante que o sistema não irá falhar, mas diminui a probabilidade. Por exemplo, num período de retorno de 100 anos a probabilidade de falha em cada ano é de 1%.

Segundo SUDERHSA, o risco adotado para um projeto define a dimensão dos investimentos envolvidos e a segurança quanto a enchentes. A análise adequada envolve um estudo de avaliação econômica e social dos impactos das enchentes para a definição dos riscos. No entanto, esta prática é inviável devido o custo do próprio estudo para pequenas áreas. Desta forma, os períodos de retorno usualmente adotados (diferentes fontes da literatura) são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Tempo de retorno para sistemas urbanos

Sistema	Características	Intervalo (anos)	Valor recomendado (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 - 5	2
	Comercial	2 - 5	2
	Áreas de prédios públicos	2 - 5	2
	Áreas comerciais e avenidas	2 - 10	2
	Aeroporto	5 - 10	5
Macro-drenagem		10 - 50	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	50 *
*limite da área de regulamentação			

Fonte: SUDERHSA (2002)

A SUDERHSA ainda sugere como medida de controle do impacto do aumento do escoamento devido à urbanização na macrodrenagem que o canal seja dimensionado para escoar uma vazão de projeto para tempos de retorno que variam de 25 a 100 anos. Aqui será adotado o período de retorno de 25 anos, isso representa que a probabilidade falha do sistema é de 4% por ano.

O registro fotográfico foi muito importante para se ter um diagnóstico das condições estruturais atuais do canal do Pedregal.

4.2 APLICAÇÃO DO MODELO CHUVA-VAZÃO IPHS1

Para a simulação com aplicação do iphs1 foi necessário o levantamento de alguns dados referente às características da bacia hidrográfica e do canal do Pedregal, como a área; o grau de impermeabilidade do solo, a partir do número CN (Método SCS-CN de separação do escoamento); o tempo de concentração da bacia; as declividades de fundo de cada trecho do canal, dimensões da seção transversal e comprimento de cada trecho do canal. Além de dados de chuva, para o qual foi utilizada a equação IDF para a cidade de Campina Grande, Equação 7.

Para a aplicação do método SCS-CN são utilizadas as seguintes equações (TUCCI, 2001):

$$\frac{P - Q - I_a}{S^* - I_a} = \frac{Q}{P} \quad (9)$$

Onde: P é a precipitação total, Q é a precipitação efetiva, I_a são as perdas iniciais e S^* é a capacidade máxima de armazenamento. Foi verificado pelos autores que as perdas iniciais representavam 20% da capacidade máxima $S = S^* - I_a$, ou seja, $I_a = 0,2S$, que resulta:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (10)$$

O parâmetro S da bacia é relacionado com um fator CN, que retrata as condições de cobertura do solo, variando de uma cobertura muito permeável (limite inferior) até uma cobertura completamente permeável (limite superior), através da seguinte equação:

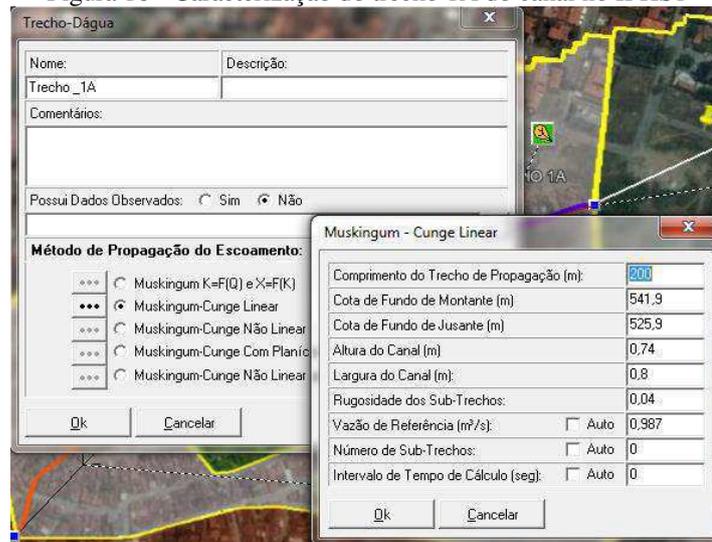
$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (11)$$

Para a transformação chuva-vazão é necessário, além do número CN, dos tempos de concentração para cada sub-bacia, que estão descritos na Tabela 4, e das áreas, que serão utilizadas no cálculo do CN e foram levantadas a partir do Google Earth Pro.

Para a caracterização de cada trecho do canal foram utilizadas informações contidas no projeto de recuperação do canal do Pedregal, fornecido pela (SEPLAN) Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Campina Grande. A escolha do método de propagação do escoamento se faz de acordo com o tipo de conduto e com as informações disponíveis sobre o canal. O método escolhido foi o método Muskingum-Cunge Linear.

A rugosidade dos subtrechos adotada foi baseada nas vazões fornecidas pela prefeitura. O valor mais aproximado é o referente a canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes em más condições que tem “n” igual a 0,040. As características como comprimento do trecho, cotas de montante e de jusante, altura e largura do canal e a vazão foram inseridas no programa estão na Tabela 13, a Figura 15 ilustra esse procedimento para o trecho 1A.

Figura 10 - Caracterização do trecho 1A do canal no IPHS1



Fonte: Modelo IPHS1(2018)

As cotas de fundo, montante e jusante, para cada trecho foram retiradas de um arquivo em AutoCad fornecido pela SEPLAN assim como os comprimentos e as dimensões. Essas informações foram organizadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados referentes a cada trecho do canal

Trechos	Comp.(m)	Cota (Mont.)	Cota (Jus.)	Altura	Largura	Rugosidades	Vazão de referência
1A	200	541,9	525,9	0,74	0,80	0,040	0,987
1B	130	525,9	515,5	0,74	0,80	0,040	0,987
2	179	515,5	508	0,70	1,00	0,040	1,523
3	210	508	499	0,80	1,20	0,040	2,034
4A	120	499	496	1,10	1,20	0,040	2,302
4B	132	496	492,7	1,10	1,20	0,040	2,302

Fonte: SEPLAN (2017)

5 RESULTADOS

5.1 RESULTADOS NUMÉRICOS

As intensidades calculadas a partir da curva IDF para Campina Grande estão na Tabela 8.

Tabela 8 – Intensidades para os períodos de retorno, 2, 5, 10, 25, 50 e 50 anos

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO t_c (min)	PERÍODO DE RETORNO (T_r) EM ANOS				
	2	5	10	25	50
	INTENSIDADES i (mm/h)				
5	99,10	122,01	142,81	175,82	205,78
10	77,83	95,82	112,15	138,08	161,61
15	65,56	80,72	94,48	116,32	136,14
20	57,40	70,67	82,71	101,84	119,19
25	51,49	63,39	74,20	91,35	106,92
30	46,97	57,83	67,68	83,33	97,53

Fonte: O autor (2018)

As laminas de chuva, utilizadas no modelo chuva-vazão, foram calculadas utilizando a Equação 8 e estão nas Tabelas 9 a 13.

Tabela 9 – Laminas de chuva (h) para $T_r=2$ anos

PERÍODO DE RETORNO (T) = 2 ANOS		
t_c (min)	i (mm/h)	h (mm)
5	99,10	8,26
10	77,83	12,97
15	65,56	16,39
20	57,40	19,13
25	51,49	21,45
30	46,97	23,48

Fonte: O autor (2018)

Tabela 10 - Laminas de chuva (h) para $T_r=5$ anos

PERÍODO DE RETORNO (T) = 5 ANOS		
t_c (min)	i (mm/h)	h (mm)
5	122,01	10,17
10	95,82	15,97
15	80,72	20,18
20	70,67	23,56
25	63,39	26,41
30	57,83	28,91

Fonte: O autor (2018)

Tabela 11 - Laminas de chuva (h) para $T_r=10$ anos

PERÍODO DE RETORNO (T) = 10 ANOS		
tc(min)	i(mm/h)	h(mm)
5	142,81	11,90
10	112,15	18,69
15	94,48	23,62
20	82,71	27,57
25	74,20	30,92
30	67,68	33,84

Fonte: O autor (2018)

Tabela 12 - Laminas de chuva (h) para $T_r=25$ anos

PERÍODO DE RETORNO (T) = 25 ANOS		
tc(min)	i(mm/h)	h(mm)
5	175,82	14,65
10	138,08	23,01
15	116,32	29,08
20	101,84	33,95
25	91,35	38,06
30	83,33	41,66

Fonte: O autor (2018)

Tabela 13 - Laminas de chuva (h) para $T_r=50$ anos

PERÍODO DE RETORNO (T) = 50 ANOS		
tc(min)	i(mm/h)	h(mm)
5	205,78	17,15
10	161,61	26,94
15	136,14	34,04
20	119,19	39,73
25	106,92	44,55
30	97,53	48,76

Fonte: O autor (2018)

Os cálculos dos CN's, utilizados no modelo chuva-vazão para cada sub-bacia, foram calculados e organizados na Tabela 14.

Tabela 14 – Características das sub-bacias

SUB-BACIA	ÁREA (Km ²)	t _c (min)	CN
0	0,082	5,29	80,72
1A	0,056	4,16	86,80
1B	0,0435	3,45	86,96
2	0,043	3,53	90
3	0,11	8,07	90
4A	0,12	8,70	88,08
4B	0,079	5,08	90

Fonte: O autor (2018)

Os resultados das Tabelas 7 e 14 e das Tabelas de 9 a 13 foram inseridos no modelo IPHS1, onde após as simulações, utilizando um “n” de Manning igual 0,040, foram obtidos os hidrogramas para cada trecho do canal para os Períodos de Retorno (Tr) de 2, 5, 10, 25 e 50 anos, os resultados de vazões máximas de entrada e saída estão organizados nas Tabelas 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15 – Vazões máximas de entrada em cada trecho

TRECHOS	VAZÕES MÁXIMAS DE ENTRADA PARA CADA TRECHO DE CANAL (m ³ /s)					VAZÕES DE REFERÊNCIA (m ³ /s)
	PERÍODOS DE RETORNO (ANOS)					
	2	5	10	25	50	
1A	0,15	0,29	0,44	0,73	1,07	0,987
1B	0,4	0,68	0,97	1,56	2,20	0,987
2	0,58	0,97	1,36	2,18	3,02	1,523
3	0,82	1,33	1,86	2,86	3,91	2,034
4A	1,43	2,28	3,14	4,61	6,04	2,302
4B	1,90	3,06	4,24	6,28	8,25	2,302

Fonte: O autor (2018)

Tabela 16 – Vazões máximas de saída em cada trecho

TRECHOS	VAZÕES MÁXIMAS DE SAÍDA PARA CADA TRECHO DE CANAL (m ³ /s)					VAZÕES DE REFERÊNCIA (m ³ /s)
	PERÍODOS DE RETORNO (ANOS)					
	2	5	10	25	50	
1A	0,40	0,68	0,97	1,56	2,20	0,987
1B	0,58	0,97	1,36	2,18	3,02	0,987
2	0,82	1,33	1,86	2,86	3,91	1,523
3	1,43	2,28	3,14	4,61	6,04	2,034
4A	1,90	3,06	4,24	6,28	8,25	2,302
4B	2,27	3,62	4,98	7,33	9,60	2,302

Fonte: O autor (2018)

Os valores marcados em vermelho representam os valores para os quais os respectivos trechos falham para cada período de retorno. O trecho 4B, já para o período de retorno de cinco, falha tanto para a vazão de entrada quanto para a vazão de saída, lembrando que esses resultados são para as condições atuais de revestimento, isso confirma a queixa dos moradores das margens desse trecho, que afirmaram que basta “uma chuva mais forte” para que o canal transborde, causando transtornos e prejuízos aos moradores.

Fazendo uma simulação para condições melhores de revestimento do canal, considerando um “n” igual a 0,018 que se refere a revestimento em concreto em más condições, tem-se os resultados da Tabela 17.

Tabela 17 – Vazões máximas para “n” igual a 0,018

TRECHOS	VAZÕES PARA CADA TRECHO				
	PERÍODOS DE RETORNO (ANOS)				
	2	5	10	25	50
1A	0,4	0,68	0,98	1,61	2,26
1B	0,58	0,97	1,42	2,28	3,14
2	0,83	1,34	1,96	3,05	4,15
3	1,47	2,31	3,15	4,61	6,21
4A	1,99	3,16	4,34	6,34	8,26
4B	2,41	3,79	5,16	7,49	9,75

Fonte: O autor (2018)

Fazendo uma comparação entre os valores das Tabelas 16 e 17 dá para perceber um aumento das vazões máximas, uma vez que, com a melhoria do revestimento diminui-se o atrito na interface água canal, aumentando-se a velocidade e conseqüentemente a vazão.

Calculando-se, utilizando a fórmula de Manning, Equação 3, as dimensões ideais para a vazão com período de retorno de 25 anos para cada trecho, mantendo-se a largura e usando a rugosidade “n” igual a 0,018, tem-se:

Trecho 1A: $Q_p = 1,61 \text{m}^3/\text{s}$

$$\frac{nQ}{\sqrt{I_0}} = AR_h^{\frac{2}{3}} \rightarrow \frac{0,018 \cdot 1,61}{\sqrt{0,08}} = h \cdot 0,80 \cdot \left(\frac{h \cdot 0,80}{2h + 0,80}\right)^{\frac{2}{3}}$$

→ $h = 0,38$ utilizando uma folga mínima de 20cm, tem – se:
 $h = 58 \text{cm} \sim 60 \text{cm}.$

Esse procedimento foi realizado para todos os trechos e os resultados estão na Tabela 18, abaixo, onde se compara a altura atual e a altura calculada.

Tabela 18 – Comparação entre a altura atual e a altura calculada

TRECHOS	ALTURA CALCULADA (metro)	ALTURA ATUAL (metro)
1A	0,60	0,80
1B	0,70	0,80
2	0,70	1,00
3	0,90	1,20
4A	1,33	1,20
4B	1,52	1,20

Fonte: O autor (2018)

Os valores em vermelho representam os trechos com altura atual menor que a calculada. Esse resultado confirma, mais uma vez, a queixa dos moradores das margens desse trecho que relatam sofrerem constantemente com alagamentos, que por estar em uma área mais plana que os outros, quando o canal transborda, o transtorno é ainda maior, pois alaga uma área considerável, afetando um número muito grande de famílias. No trecho 4B, a prefeitura - como foi dito anteriormente - iniciou uma obra de elevação das paredes, mas não concluiu; ou seja, a prefeitura tem conhecimento do transtorno vivido pelos moradores.

Utilizando um valor de CN estimando o uso do solo há 30 anos, quando o bairro era pouco habitado e as ruas não eram calçadas, para se ter uma ideia da vazão produzida pela bacia na época da construção do canal, foram feitas simulações para efeitos de comparação. Considerando que o bairro tinha muitos terrenos baldios adotou-se um CN de 74, equivalente a terrenos Baldios em boas condições, solo tipo C. Os valores das vazões máximas de entrada e saída de cada trecho, utilizando um CN de 74, e os valores para os CN's calculados para os dias atuais e para o período de retorno de 25 anos estão na Tabela 19.

Tabela 19 – Comparação entre as vazões para o CN estimado e o CN calculado

T _r = 25 ANOS	“CN” estimado		“CN” calculado	
	Q _{E,MÁX}	Q _{S,MÁX}	Q _{E,MÁX}	Q _{S,MÁX}
Trecho				
1A	0,41	0,69	0,73	1,56
1B	0,69	0,89	1,56	2,18
2	0,89	1,06	2,18	2,86
3	1,06	1,55	2,86	4,61
4A	1,55	2,07	4,61	6,28
4B	2,07	2,37	6,28	7,33

Fonte: O autor (2018)

Apesar de ser apenas uma estimativa, esses valores dão uma ideia de como a vazão produzida pela bacia aumentou nas últimas décadas.

Esse aumento das vazões mostra o quanto é importante adotar um horizonte de projeto onde se estima as alterações no uso do solo ao longo dos anos, evitando projetos que se tornam ineficiente em pouco tempo causando transtornos a população e prejuízos aos cofres públicos, pois em alguns casos a solução é refazer as obras.

5.2 DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS ATUAIS DO CANAL

No dia 19 de Maio do presente ano, foi realizada uma visita ao canal no Pedregal, onde, além de diálogos com moradores, foram realizados registros fotográficos. As imagens mostram o quanto é urgente a necessidade de uma intervenção por parte da prefeitura municipal de Campina Grande, no que diz respeito à recuperação tanto do leito, Figura 10, quanto das paredes, Figura 11, e do entorno do canal visto que estes elementos estão muito deteriorados. Em diálogo com alguns moradores, principalmente do ultimo trecho do canal,

foi relatado que qualquer chuva forte causa o transbordamento do canal e as casas ficam ilhadas porque a prefeitura iniciou uma obra de elevação das paredes, figura 12, e não concluiu a obra, então a água invade a rua e fica acumulada.

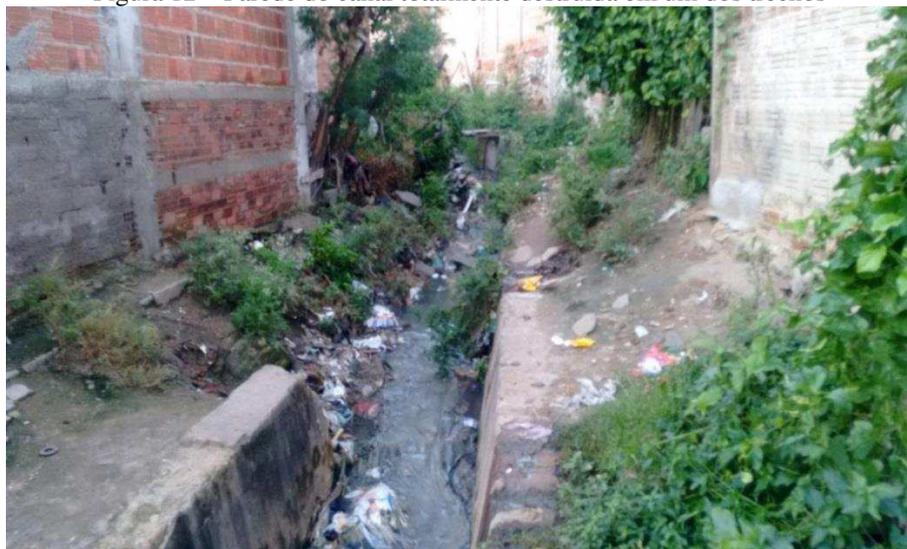
A presença de resíduos sólidos dentro canal e no seu entorno, Figura 14, mostra a necessidade de adotar medidas não estruturais, como a conscientização a respeito do impacto ambiental de algumas atitudes da população, como jogar resíduos sólidos dentro do canal, e também nas ruas, uma vez que, com a chegada da chuva, esses resíduos serão carregados para dentro do canal dificultando muito a capacidade de escoamento do mesmo.

Figura 11 – Situação atual do leito do canal em um dos trechos



Fonte: O autor (2018)

Figura 12 – Parede do canal totalmente destruída em um dos trechos



Fonte: O autor (2018)

Figura 13 – Trecho onde a prefeitura iniciou a elevação das paredes do canal



Fonte: O autor (2018)

As condições atuais do canal do Pedregal são muito preocupantes, visto ser a situação de abandono e descaso bem visível, não só do ponto de vista da engenharia, mas também do ponto de vista social. É claro que a engenharia civil tem um grande papel social e é imprescindível que cada profissional tenha essa consciência para que se tenha uma sociedade cada vez mais justa e igualitária, pelo menos no que diz respeito a direitos e necessidades básicas.

A Figura 13 mostra a forma como algumas famílias construíram suas casas, os muros das casas foram construídos sobre as paredes do canal e o acesso às casas se dá através de pontes improvisadas sobre o canal, de forma que qualquer transbordamento suas casas serão inundadas. Pra maioria das pessoas esse seria um lugar inimaginável para se construir uma casa, mas quando existe uma necessidade extrema e a falta de opção causa esse tipo de situação.

Figura 14 – Muros das casas construídos sobre a parede do canal



Fonte: O autor (2018)

Figura 15 – Presença de resíduos sólidos no entorno e dentro do canal



Fonte: O autor (2018)

6 CONCLUSÕES

A partir das observações realizadas e dos resultados das simulações para cada trecho, pode-se concluir que:

Os resultados mostram que na condição atual alguns trechos do canal transbordam mesmo para um período de retorno de 5 anos.

Nas condições estruturais atuais, todos os trechos falham para um período de retorno de 25 anos.

Os trechos iniciais do canal não estão subdimensionados, considerando os valores calculados para o período de retorno específico e melhores condições de revestimento.

Os trechos 4A e 4B estão com alturas inferiores às calculadas, de acordo com a vazão no trecho.

As paredes e o leito do canal estão muito deteriorados, necessitando urgentemente de uma recuperação, alguns pontos estão com as paredes totalmente destruídas e o fundo do canal atingiu o leito natural, com rochas aflorando, oferecendo uma resistência muito grande ao escoamento e diminuindo a capacidade de vazão.

Os registros fotográficos mostram que os moradores depositam resíduos sólidos dentro e no entorno do canal representando um agravante do problema, uma vez que os resíduos podem obstruir o canal e as galerias.

Além da recuperação do canal, é necessária a adoção de medidas não estruturais por parte do poder público para orientar e conscientizar a população do risco que correm ao fazer uso indevido do canal, uma vez que isso pode agravar as consequências de um possível transbordamento.

Existe também a necessidade de uma intervenção por parte da prefeitura no que diz respeito à proximidade das casas em relação ao canal. O maior problema não é o canal transbordar, mesmo porque é esperado que isso ocorra em determinado intervalo de tempo, o problema é o canal transbordar e a água invadir casas e ameaçar a vida das pessoas.

Nos trechos iniciais onde não existem problemas com as dimensões do canal, a solução é simples, melhorar o revestimento.

O trecho 4A pode ter suas paredes elevadas, uma vez que as casas próximas ao canal estão acima do nível das paredes do canal, e também ter seu revestimento melhorado.

O último trecho é o mais problemático e de solução mais onerosa, pois elevar as paredes, como foi feito pela prefeitura, não resolve o problema, porque dessa forma a rua fica

abaixo do nível das paredes do canal, o que dificulta a drenagem do escoamento superficial e caso sejam colocadas bocas de lobo, a água proveniente do próprio canal invadiria a rua através delas.

Uma possível solução para o caso acima é a utilização manilhas de concreto para o referido trecho. De acordo com simulações no IPHS1, manilhas com diâmetro de 1500 mm dariam vazão para a água produzida pela bacia, e dessa forma poderia analisar a possibilidade de ser aberta uma rua no local.

Outra solução seria aumentar a largura do canal, mantendo a altura, ficando as paredes abaixo do nível da rua.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Danielle B. S. de, SILVA, Cícero L. da, OLIVEIRA, CARLOS A. da S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. Revista de Engenharia. Agrícola, v.26, n.1, p.103-112, Jaboticabal, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30101.pdf>> Acessado em 29 de maio de 2018.

ARAGÃO, Ricardo de et al. Chuvas intensas no estado da Paraíba. Campina Grande, 2000. Disponível em: <www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/Disciplinas/HidrologiaAplicada/ChuvasIntensasPB.pdf> Acessado em 01 de agosto de 2018.

BACCI, Denise de La Corte; PATACA, Ermelinda Moutinho. Educação para a água. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, pp. p. 211-226, 2008. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200014&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 12 de Janeiro de 2018.

CALZAVARA, Silmara Forner; FERNANDEZ, Oscar Vicente Quinonez. Uso e ocupação do solo e número de curva (CN) na bacia hidrográfica do córrego Matilde Cuê, Marechal Cândido Rondon (PR). Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, v. 7, n. 1, p. 185-209, 2015. Disponível em: <<http://educem.uem.br/laboratorio/ojs/index.php/Geoiंगा/article/view/27777/15360>> Acessado em 27 de julho de 2018.

SEPLAN. Projeto ambiental: urbanização do Pedregal III E IV, 2017.

CAMPINAGRANDE. História. Disponível em: <<http://campinagrande.pb.gov.br/historia/>> Acessado em: 28 de julho de 2018.

IBGE. Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>> Acessado em 26 de julho de 2018.

LEMOS, Elaine Melo de Brito Costa. De portas abertas para o lazer: a cultura lúdica nas comunidades de Bairro [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2009. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/ggfc/pdf/lemos-9788578791223.pdf>>. Acessado em 23 de julho de 2017.

LOGICAMBIENTAL. O ciclo hidrológico. Amapá, 2017. Disponível em: <<http://www.logicambiental.com.br/o-ciclo-hidrologico/>> Acessado em: 23 de julho de 2018.

MACEDO, Maria José HERCULANO; GUEDES, Roni Valter DE SOUZA; SOUSA, Francisco de Assis SALVIANO. Monitoramento e intensidade das secas e chuvas na cidade de Campina Grande/PB. Revista Brasileira de Climatologia, v. 8, 2011.

MIGUEZ, Marcelo Gomes. Drenagem urbana: do projeto à sustentabilidade. 1ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MONTERO, Tatiana Valencia; ALVES, Michael César; LAMIM-GUEDES, Valdir. Ciclo hidrológico em áreas urbanas. Revista educação ambiental em ação, número 56, ano XV,

junho-agosto, 2016. Disponível em: < <http://www.revistaeea.org/artigo.php?idartigo=2330> >. Acessado em 12 de Janeiro de 2018.

MOTTA, Luana Dias. A questão da habitação no Brasil: políticas públicas, conflitos urbanos e o direito à cidade. UFMG, 2014. Disponível em: <http://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/wp-content/uploads/2014/04/TAMC-MOTTA_Luana_-A_questao_da_habitacao_no_Brasil.pdf> Acessado em 02 de junho de 2018.

OBSERVACAMPINA. Pedregal. [201?]. Disponível em: <<http://www.observacampina.com/sigcg/pdf/perfil/PEDREGAL.pdf>> Acessado em 23 de abril de 2018

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

RETALHOS HISTÓRICOS DE CAMPINA GRANDE. Favela do Pedregal – Campina Grande. Disponível em: <http://4.bp.blogspot.com/_LRqKt1aZer0/TDr0G8D4HkI/AAAAAAAAAB8Q/T-fqnauHzDQ/s1600/foto04.JPG> Acessado em 27 de julho de 2018.

RIGHETTO, A. M. (coordenador). Manejo de Águas Pluviais. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2009.

SCHEIDT, Felipe Alex; DE CAMARGO BRUNETTO, Maria Angélica. Modelagem Chuva-vazão utilizando Redes Neurais Artificiais e Algoritmos Genéticos. Londrina, 2011. Disponível em: <http://dimap.ufrn.br/csbc2011/anais/eventos/contents/WCAMA/Wcama_Sessao1_Artigo1_Scheidt.pdf> Acessado em 24 de julho de 2018.

SOUZA, Leandro Rodrigues de. Simulação hidrológica e aplicação de uma análise multivariada no estudo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio São Francisco. UFCG, Campina Grande, 2012.

SUDERHSA, CH2M HILL DO BRASIL. Manual de drenagem urbana–Região metropolitana de Curitiba/PR-versão 1.0. SUDERHSA–Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Não publicado, 2002. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf> Acessado em 23 de julho de 2018.

TUCCI, Carlos E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005a.

_____. Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª ed. 2ª reimp. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

_____. Modelos hidrológicos. Ed. UFRGS, Porto Alegre, 1998.

_____. Programa de drenagem sustentável: apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas-Versão 2.0. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

UNIFACISA. Campina Grande. [201?]. Disponível em: <<http://jogosdigitais.cesed.br/campina-grande/>> Acessado em 02 de agosto de 2018.

VARGAS, Renato. Engenharia e sociedade - da importância do ensino de humanidades na engenharia. São Paulo, 2017. Disponível em:<<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2017/04/10/engenharia-e-sociedade-da-importancia-do-ensino-de-humanidades-na-engenharia/>>. Acessado em 28 de maio de 2018.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. Hidrologia aplicada. In: Hidrologia aplicada. McGraw-Hill, 1975.