

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**DRENAGEM URBANA  
ANÁLISE DE PROBLEMAS DE NOVOS LOTEAMENTOS  
ESTUDO DE CASO DA CIDADE ESTRUTURAL – DF**

**PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL 2**

**CAMILA YARLA FERNANDES  
10/0095828**

**ORIENTADOR: PROF. SERGIO KOIDE  
CO-ORIENTADORA: MARIA ELISA LEITE COSTA**

**BRASÍLIA, DEZEMBRO DE 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**DRENAGEM URBANA  
ANÁLISE DE PROBLEMAS DE NOVOS LOTEAMENTOS  
ESTUDO DE CASO DA CIDADE ESTRUTURAL – DF**

**PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL 2**

**CAMILA YARLA FERNANDES  
10/0095828**

**ORIENTADOR: PROF. SERGIO KOIDE  
CO-ORIENTADORA: MARIA ELISA LEITE COSTA**

**BRASÍLIA, DEZEMBRO DE 2015**

## **AGRADECIMENTOS**

Como não agradecer a Deus antes de tudo, pelo dom da vida e pela família que me foi presenteada? Família essa que me ensinou a viver com amor desde o meu primeiro suspiro.

Em especial à minha avó, Dona Maria, que é a pessoa mais linda que tive o prazer de conhecer neste mundo. E à minha mãe, Cristina, que apoia todas as minhas decisões, desde que elas me façam feliz.

Agradeço aos amigos, que acompanharam todos os dramas e todas as risadas dessa super jornada, dentro e fora da UnB. Obrigada por tornarem esses anos inesquecíveis.

E ao Teo, pela amizade mais fiel que um ser humano pode ter.

Ao Lucas, que veio ao mundo para me entender, encorajar e fazer rir todos os dias.

Aos incríveis professores que encontrei nessa Universidade e que me ensinaram muito mais do que está escrito em meu histórico escolar. Obrigada por me formarem como Engenheira e como pessoa.

Aos queridos amigos do Projeto de Extensão e a todos os que passaram por ele, alunos e professores, por terem me ensinado tanto e me inspirado a cada reunião.

Aos que gentilmente forneceram os dados necessários para este trabalho, por seu olhar de respeito e seu desejo sincero de que os resultados fossem alcançados. Obrigada por acreditarem que podemos fazer algo juntos. E à Chiwater por fornecer a licença para utilização do programa.

Agradeço a todos os que fizeram parte dessa caminhada de muita paixão. Porque é isso o que você sente quando acorda todos os dias para fazer aquilo que ama.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. O CICLO HIDROLÓGICO E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2. OS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>3.3. A DRENAGEM NO PLANEJAMENTO URBANO.....</b>	<b>11</b>
<b>3.4. OS SISTEMAS DE DRENAGEM .....</b>	<b>12</b>
3.4.1.    Sistemas de Drenagem Convencionais.....	12
3.4.2.    Sistemas de Drenagem Alternativos ou Compensatórios.....	13
3.4.3.    As Bacias de Detenção .....	17
<b>3.5. MODELAGEM E SIMULAÇÃO .....</b>	<b>21</b>
3.5.1.    Modelagem Hidrológica.....	21
3.5.2.    O Modelo SWMM.....	23
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>27</b>
4.1.1.    Histórico da Cidade Estrutural .....	27
4.1.2.    O Lixão da Estrutural .....	30
4.1.3.    Aspectos Urbanísticos .....	32
4.1.4.    Aspectos Biofísicos e Climatológicos .....	33
<b>4.2. SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DE CENÁRIOS .....</b>	<b>36</b>
4.3.1.    Base de dados .....	36
4.3.2.    Definição dos cenários.....	38
4.3.3.    Geoprocessamento e Modelagem no PCSWMM.....	39
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA.....</b>	<b>41</b>
<b>5.2. A SITUAÇÃO DA DRENAGEM NA CIDADE ESTRUTURAL.....</b>	<b>43</b>
5.2.1.    Rede de Drenagem Existente.....	43
5.2.2.    Rede de Drenagem Proposta pela Novacap.....	48
5.2.3.    Propostas alternativas para o manejo de águas pluviais .....	49
<b>5.3. MAPAS DE PERMEABILIDADE UTILIZADOS NA MODELAGEM.....</b>	<b>51</b>
<b>5.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS .....</b>	<b>54</b>
5.4.1.    Simulação 1: chuva de projeto da Novacap.....	54
5.4.2.    Simulação 2: chuva de projeto do PDDU.....	57
<b>5.5. BACIAS DE RETENÇÃO E DETENÇÃO .....</b>	<b>64</b>
5.5.1.    Adequação do dimensionamento.....	64
5.5.2.    Comportamento hidráulico .....	66
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3.1 O ciclo hidrológico (Fonte: Adaptado de Porto, 1973).</i> .....	5
<i>Figura 3.2 – Hidrograma típico de tempestade (Fonte: Adaptado de McCuen, 1998).</i> .....	6
<i>Figura 3.3 – Impactos da urbanização no balanço hídrico (Fonte: Adaptado de FISRWG, 1998).</i> .....	7
<i>Figura 3.4 - Comparação de hidrogramas pré e pós urbanização (Fonte: Baptista, 2009)</i>	7
<i>Figura 3.5 - Componentes do sistema clássico de drenagem: (a) sarjeta e boca de lobo; (b) galeria pluvial.</i> .....	13
<i>Figura 3.6 - Exemplos de medidas compensatórias: (a) estacionamento com pavimento permeável; (b) detalhe de pavimento permeável; (c) pavimento de resina porosa, utilizado para manter o solo permeável.</i> .....	15
<i>Figura 3.7 – Exemplos de medidas compensatórias lineares: (a) combinação de blocos vazados e trincheira de infiltração; (b) vala de infiltração; (c) trincheira de infiltração.</i> .....	15
<i>Figura 3.8 - Hidrogramas de entrada e saída de vazão da bacia de detenção. O volume de águas pluviais retidas durante e após um evento de chuva (<math>V_s</math>) é a diferença entre os hidrogramas de entrada e saída da bacia.</i> .....	18
<i>Figura 3.9 – Bacia de detenção de usos múltiplos, em Porto Alegre, RS.</i> .....	19
<i>Figura 3.10 – Visão conceitual do fenômeno do escoamento no SWMM (Fonte: Adaptado de SWMM, 2012).</i> .....	23
<i>Figura 4.1 – Área da Cidade Estrutural anteriormente à ocupação, em 1964 (Fonte da imagem: SEDHAB).</i> .....	28
<i>Figura 4.2 – Área da Cidade Estrutural durante o início do depósito de lixo, em 1975 (Fonte da imagem: SEDHAB).</i> .....	29
<i>Figura 4.3 – Cidade Estrutural com a configuração atual de ocupação (Fonte da ortofoto: Terracap).</i> .....	29
<i>Figura 4.4 – Perfil topográfico da área do Lixão no sentido norte-sul. Visada para leste (Fonte: Cavalcanti, 2014).</i> .....	30
<i>Figura 4.5 – Cidade Estrutural: (a) queima de resíduos sólidos pela população; (b) disposição inadequada de resíduos sólidos nas ruas da cidade.</i> .....	31
<i>Figura 4.6 – Valas de contenção de chorume nas imediações do Lixão, com depósitos de lixo (Fonte: Greentec, 2012).</i> .....	31
<i>Figura 4.7 – Cidade Estrutural: (a) tráfego de caminhões de lixo nas proximidades dos Lixão; (b) poeira intensa em via próxima aos limites do Lixão.</i> .....	32
<i>Figura 4.8 – Localização do SCIA/Cidade Estrutural no DF, com aspectos ambientais relevantes e pontos críticos na área de estudo.</i> .....	33
<i>Figura 4.9 – Superior: Hidrografia do DF e localização da bacia do Lago Paranoá. Inferior: Detalhe da hidrografia da área de estudo, na Cidade Estrutural.</i> .....	34
<i>Figura 4.10 – Médias mensais de precipitação para a Estação 1547018, do Jockey Club, referente ao período de 1978 a 2009 (Fonte: ANA-Hidroweb).</i> .....	35
<i>Figura 4.11 – Localização das Estações Pluviométricas nas proximidades da cidade.</i> ....	36
<i>Figura 4.12 – Sub-bacias utilizadas na modelagem para todos os cenários propostos.</i> ....	40
<i>Figura 5.1 – Uso e ocupação do solo na Cidade Estrutural em 1964.</i> .....	42
<i>Figura 5.2 – Uso e ocupação do solo na Cidade Estrutural em 2013.</i> .....	42
<i>Figura 5.3 – Pedologia e grupos hidrológicos presentes na Cidade Estrutural.</i> .....	43
<i>Figura 5.4 – Mapa de declividade na área da Cidade Estrutural.</i> .....	43

<i>Figura 5.5 - Bacias de drenagem da Cidade Estrutural.</i> .....	45
<i>Figura 5.6 – Imagem de satélite ilustrando a Bacia de Contenção e o processo erosivo ocasionado pela falta de sistema de drenagem pluvial adequado (Fonte: Google Earth).</i> .....	46
<i>Figura 5.7 – Cidade Estrutural: vias sem bocas de lobo e sarjetas.</i> .....	46
<i>Figura 5.8 – Entrada do Setor Santa Luzia<sup>14</sup></i> .....	47
<i>Figura 5.9 – Propostas do arquiteto Lelé para o programa de habitação social Minha Casa, Minha Vida.</i> .....	50
<i>Figura 5.10 – Proposta de bacia de retenção integrada à parque linear com usos múltiplos de pista de skate e anfiteatro, em Makati, Filipinas.</i> .....	51
<i>Figura 5.11 – Valores de CN para o cenário “a”.</i> .....	52
<i>Figura 5.12 – Valores de CN para os cenários “b” e “c”.</i> .....	52
<i>Figura 5.13 – Valores de CN para o cenário “d”.</i> .....	53
<i>Figura 5.14 - Valores de CN para o cenário “e”.</i> .....	53
<i>Figura 5.15 – Precipitação de projeto segundo a metodologia proposta pela Novacap. .</i> 54	
<i>Figura 5.16 – Hidrogramas de saída da bacia 1 (OF1) para a simulação com precipitação de projeto da Novacap.</i> .....	55
<i>Figura 5.17 - Hidrogramas de saída da bacia 2C (OF2) para a simulação com precipitação de projeto da Novacap.</i> .....	56
<i>Figura 5.18 – Hidrogramas de saída das bacias 2A e 2B (OF3) para a simulação com precipitação de projeto da Novacap.</i> .....	57
<i>Figura 5.19 – Hietograma com chuva de projeto para tempo de retorno de 10 anos.</i> .....	57
<i>Figura 5.20 – Hidrogramas de saída da bacia 1 (OF1) para a simulação com precipitação de projeto do PDDU.</i> .....	58
<i>Figura 5.21 – Identificação dos componentes do sistema de drenagem que sofreram sobrecarga, para o cenário “c”.</i> .....	59
<i>Figura 5.22 - Identificação dos componentes do sistema de drenagem que sofreram sobrecarga, para o cenário “c”.</i> .....	59
<i>Figura 5.23 – Componentes do sistema de drenagem que apresentaram sobrecarga para o cenário “c”.</i> .....	60
<i>Figura 5.24 – Componentes do sistema de drenagem que apresentaram sobrecarga para o cenário “d”.</i> .....	60
<i>Figura 5.25 - Animação do PCSWMM com destaque para os condutos sobrecarregados (cenário “c”).</i> .....	61
<i>Figura 5.26 – Animação do PCSWMM com destaque para os condutos sobrecarregados (cenário “d”).</i> .....	61
<i>Figura 5.27 – Conduto 33 no cenário “d” com sobrecarga.</i> .....	62
<i>Figura 5.28 – Hidrogramas de saída da bacia 2 (OF2) para a simulação com precipitação de projeto do PDDU.</i> .....	63
<i>Figura 5.29 – Hidrogramas de saída das bacias 2A e 2B (OF3) para a simulação com precipitação de projeto do PDDU.</i> .....	64
<i>Figura 5.30 – Hidrogramas de entrada e saída de vazão da bacia de retenção para o cenário “c”.</i> .....	67
<i>Figura 5.31 – Hidrogramas de entrada e saída do reservatório de retenção para os cenários “c”, “d” e “e”.</i> .....	67

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo de toda a história, as ocupações humanas estiveram vinculadas à proximidade a corpos d'água devido a necessidades primordiais como consumo, higiene e eliminação de dejetos. Mais ainda, essa proximidade favoreceu também o aparecimento de atividades como agricultura, comércio e navegação e o desenvolvimento das cidades. Juntamente com esses benefícios, no entanto, havia as desvantagens em ocupar as imediações dos corpos d'água, como a ocorrência de inundações em ocupações ribeirinhas e a insalubridade devido a um esgotamento precário (Batista *et al*, 2005).

Esses problemas são agravados ainda pela adição das águas pluviais, que em áreas impermeabilizadas deixam de infiltrar no solo e ficam retidas na superfície, passando a ser, por muitas vezes, associadas a problemas sanitários e à disseminação de doenças. Por essa razão, no planejamento das cidades, passou-se a priorizar a rápida remoção das águas para longe dos centros urbanos a fim de evitar esse acúmulo próximo às populações.

Essa visão higienista era predominante no século XIX e início do século XX, em uma época em que os problemas ambientais considerados hoje não eram tão inquietantes. Por outro lado, se baseava apenas na transferência do problema para jusante, por meio de canalizações e da aceleração do escoamento (Canholi, 2005). A manutenção dessa visão, no entanto, acaba por gerar graves alterações no equilíbrio natural dos cursos d'água e do ciclo hidrológico, enquanto o constante aumento da urbanização torna essas soluções ineficientes na prevenção de enchentes.

Esse último aspecto é especialmente relevante para áreas de urbanização espontânea, que comumente estão mais expostas a desastres por ocuparem áreas de risco, contribuindo para o aumento dos registros de enchentes. Por esse motivo, torna-se de fundamental importância a existência de um planejamento adequado que leve em consideração o gerenciamento do uso e ocupação do solo, assim como o manejo dos sistemas de drenagem pluvial e dos demais componentes do saneamento.

A partir dos anos 1970, o problema da drenagem adquiriu uma nova perspectiva, por meio de medidas alternativas – ou compensatórias. Essas soluções buscavam conciliar a redução dos impactos da urbanização no ciclo hidrológico com a harmonização da presença de água nas cidades, de modo a gerar uma melhoria da qualidade de vida dos habitantes e a contribuir para a preservação ambiental (Baptista *et al.*, 2005).

O principal intuito a partir desse momento é compensar os impactos gerados pela urbanização de modo que se aproxime o quanto for possível do sistema natural, anterior à

impermeabilização do solo. A maior diferença entre essas novas soluções e as soluções convencionais está em perceber toda a bacia hidrográfica como área de estudo e não somente a área habitada. Assim, evita-se o excesso de volume de água desde os primeiros geradores e previne-se a transferência imediata para jusante (ASCE, 1992).

Um caso de ocupação espontânea no Distrito Federal é a Cidade Estrutural, originada na década de 1970. Essa região é foco de inúmeras pesquisas em diferentes áreas do conhecimento, principalmente devido a sua história que resultou na atual configuração urbana e social. Em relação ao saneamento, no entanto, ainda há muito a ser explorado e a questão da drenagem urbana, em especial, é muito pertinente para os moradores que sofrem com constantes alagamentos. Além disso, esses e outros problemas de saneamento básico continuam a surgir, visto que o Lixão de Brasília permanece em atividade nas proximidades da região.

A urbanização desordenada dessa área, somada aos impactos ambientais do Lixão, tem ocasionado um acréscimo significativo do volume de água escoada como também de elevada carga poluidora de origem difusa para o Córrego Cabeceira do Valo, que recebe as águas drenadas pela Cidade Estrutural. Esse Córrego, portanto, recebe os impactos do excesso de águas pluviais poluídas, além de possíveis contaminações subterrâneas oriundas da deposição de resíduos no Lixão sem o adequado isolamento de poluentes (PROGEA, 2004).

As medidas de controle e o manejo de águas pluviais, portanto, devem evitar um elevado impacto no córrego Cabeceira do Valo, que se encontra dentro da sub-bacia Riacho Fundo, na bacia do Lago Paranoá. Ressalta-se que a água do Lago será utilizada em breve para abastecimento da população, o que reforça a necessidade de tomar medidas preventivas para evitar a contaminação desse sistema hídrico.

Uma forma de mensurar os impactos gerados pela urbanização é o uso de modelagem hidrológica e hidráulica, principalmente para os casos de poluição difusa que são de estimativa complexa. O Storm Water Management Model – SWMM (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana - SWMM) é um dos modelos mais amplamente utilizados para esse tipo de estudo e que apresenta elevada versatilidade. É um programa computacional com capacidade para analisar o impacto do escoamento superficial e dar suporte na avaliação e efetividade de estratégias de mitigação.

A fim de quantificar esses impactos, o modelo foi utilizado na região de estudo para diferentes cenários, de modo a estabelecer uma comparação quantitativa de eficiência entre os sistemas convencionais e alternativos para o caso em estudo. Mais ainda, foi observado

se o atual plano de drenagem proposto para a Cidade Estrutural terá condições de suportar os impactos da urbanização no que se refere à manutenção da qualidade dos corpos hídricos à jusante da cidade.

Dentro desse contexto, o presente estudo está dividido nos seguintes capítulos:

- Capítulo 2, definição dos objetivos, que irá ressaltar os objetivos a serem alcançados no trabalho;
- Capítulo 3, fundamentação teórica e revisão bibliográfica, que irá descrever em maiores detalhes as medidas de drenagem disponíveis atualmente e o modelo hidrológico SWMM, assim como os trabalhos já realizados e dados relevantes para o caso da Cidade Estrutural referentes ao tema;
- Capítulo 4, metodologia, que irá descrever em detalhes a área de estudo e as informações relevantes para aplicação do método;
- Capítulo 5, resultados e discussão, que apresentará os resultados obtidos da aplicação do modelo e suas interpretações;
- Capítulo 6, conclusões, que irá rever os pontos mais relevantes do trabalho e propor recomendações para estudos futuros.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O trabalho tem como objetivo avaliar as variações quantitativas do escoamento superficial na bacia do Córrego Cabeceira do Valo, que resultaram dos impactos da urbanização do recente loteamento da Cidade Estrutural, no Distrito Federal e a sugestão de medidas compensatórias para solucionar esses impactos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar as soluções de drenagem propostas pela Novacap em relação à urbanização da Cidade e à manutenção da qualidade dos corpos hídricos, pela ferramenta SWMM;
- Analisar alternativas para a redução dos impactos ambientais gerados pela urbanização em relação ao aumento das vazões, pela ferramenta SWMM;
- Avaliar a eficiência das diferentes visões de manejo de águas pluviais por meio da determinação de cenários;
- Estudar e propor alternativas de manejo de águas pluviais da Cidade Estrutural por meio da aplicação do planejamento ambiental.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. O CICLO HIDROLÓGICO E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O ciclo hidrológico compreende o movimento de água na Terra, regulado pela radiação solar, correntes atmosféricas, forças de Coriolis e forças gravitacionais e capilares (Figura 3.1). No entanto, os estudos de drenagem normalmente se referem a eventos de chuva associados a um curto intervalo de tempo e, por essa razão, apenas algumas etapas do ciclo são relevantes. A partir dessa perspectiva, a análise dos efeitos de um evento de *precipitação* em uma bacia hidrográfica se restringe às etapas de *interceptação*, *infiltração*, *evaporação* e *evapotranspiração* e *escoamento superficial* do ciclo hidrológico (Durrans, 2007).

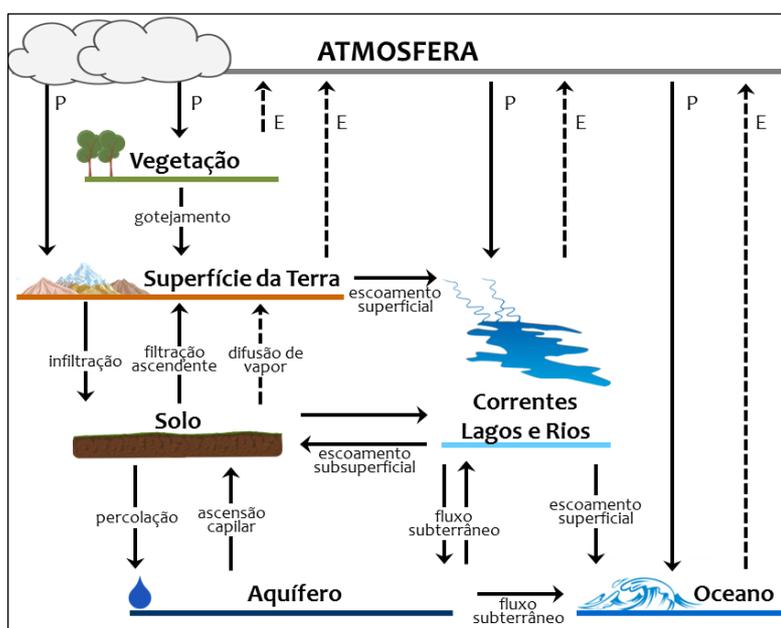


Figura 3.1 O ciclo hidrológico (Fonte: Adaptado de Porto, 1973).

A interceptação refere-se à quantidade de água capturada pela vegetação ainda antes de chegar ao solo. O restante do volume de água que chega ao solo pode sofrer infiltração, e contribuir para o volume de água subterrânea, ou tornar-se escoamento superficial. O escoamento de base, se presente, está relacionado à vazão subterrânea que alimenta os corpos hídricos. O escoamento superficial, por sua vez, é acrescido ao volume de rios, lagos e oceanos, de modo que a vegetação contribui para desacelerar o escoamento e favorecer a infiltração (Tucci, 2002).

No caso do estudo da gestão de sistemas de drenagem, os componentes hidrológicos de maior importância são a precipitação e o escoamento superficial. Em relação à precipitação, os sistemas devem ser projetados de acordo com a frequência de recorrência

da *precipitação de projeto*, respectivo ao volume total de chuva desse evento específico. Essa informação, somada às características de drenagem da bacia, irá determinar o volume e a descarga do escoamento correspondente à precipitação que não foi captada pela interceptação, evapotranspiração ou infiltração. Essa porção escoar pela superfície até os corpos hídricos sendo, portanto, o componente hidrológico de maior interesse para os estudos de drenagem (Durrans, 2007).

Um hidrograma representa a variação da taxa de escoamento ao longo do tempo em uma determinada localidade dentro de uma bacia e a área sob a curva representa o volume desse escoamento (Figura 3.2). Esse aspecto é de fundamental importância para a realização de um estudo adequado, que considera a integração dos sistemas de drenagem com a bacia hidrográfica.

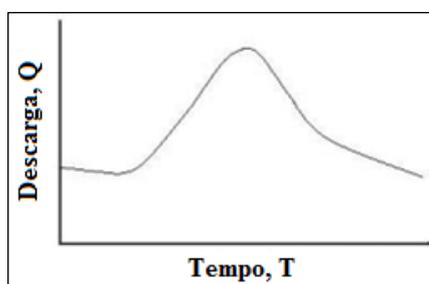


Figura 3.2 – Hidrograma típico de tempestade (Fonte: Adaptado de McCuen, 1998).

## 3.2. OS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

### 3.2.1. Impactos na Quantidade do Escoamento

A urbanização altera o equilíbrio natural dos corpos hídricos devido à soma de dois fatores principais: o aumento da impermeabilidade do solo e a eficiência hidráulica do escoamento urbano. Esses fatores podem causar um aumento das vazões de pico do escoamento superficial e são intensificados proporcionalmente à porcentagem da bacia hidrográfica que foi urbanizada (ASCE, 1992).

Em áreas não urbanizadas, etapas como a evapotranspiração, interceptação e infiltração correspondem a uma significativa parcela do ciclo hidrológico. Sob condições urbanizadas, no entanto, a área impermeável é consideravelmente maior devido à presença de ruas, telhados, áreas de estacionamento, rodovias e calçadas, o que ocasiona um aumento do escoamento superficial na bacia, como pode ser visto na Figura 3.3 (ASCE, 1992).

Além disso, os pavimentos, calhas e galerias pluviais transportam o escoamento mais rapidamente do que as superfícies naturais. Dessa forma, além de um maior volume de água causado pela impermeabilização do solo, a canalização e linearização de canais

naturais intensificam a problemática devido ao aumento da velocidade dos escoamentos (Canholi, 2005).

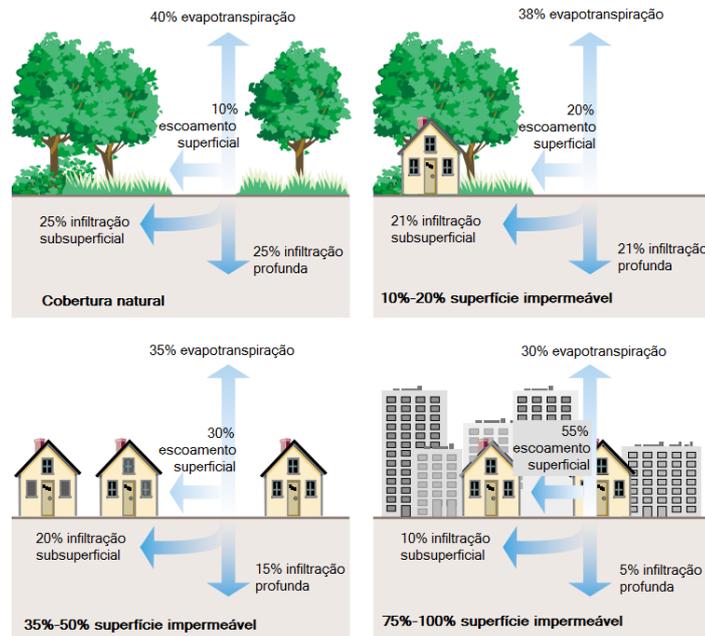


Figura 3.3 – Impactos da urbanização no balanço hídrico (Fonte: Adaptado de FISRWG, 1998).

O impacto típico da urbanização no hidrograma de escoamento é mostrado na Figura 3.4. Percebe-se, portanto, que o hidrograma pós-urbanização difere do hidrograma de uma região não urbanizada em relação a três principais aspectos:

- 1) O volume total do escoamento é maior, devido ao decréscimo na infiltração e armazenamento em depressões;
- 2) O escoamento acontece mais rapidamente, resultado de velocidades de fluxo maiores no sistema de drenagem;
- 3) A vazão de pico é inevitavelmente maior, consequência de um maior volume de escoamento que ocorre em um período de tempo mais curto.

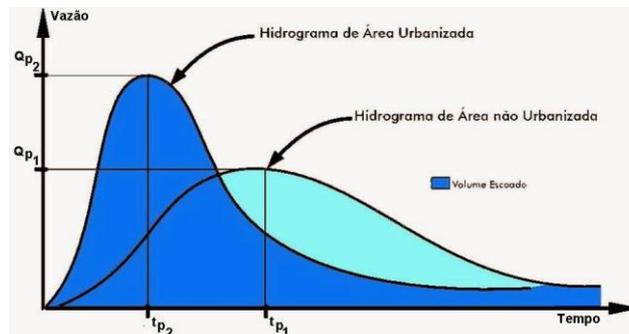


Figura 3.4 - Comparação de hidrogramas pré e pós urbanização (Fonte: Baptista, 2009<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> (Palestra) BAPTISTA, M. Trabalho de Integralização Multidisciplinar I: Drenagem Urbana. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia da UFMG, 2009 (disponível em: <http://www.etg.ufmg.br/tim1/palestradrenagemmarcio.pdf>).

Outros impactos da urbanização estão relacionados à redução do escoamento de base e, conseqüentemente, da recarga do aquífero, o que leva a vazões menores do corpo durante períodos secos e também às alterações da qualidade da água dos corpos receptores, devido à poluição de origem difusa.

A área de estudo deste trabalho está inserida no bioma cerrado. Nesse caso, quando as precipitações do período chuvoso atingem a vegetação natural são favorecidas a maior retenção e infiltração das águas, de modo que o escoamento superficial estimado varia entre 15% e 20% do volume precipitado (PROGEA, 2004). A urbanização, no entanto, reduz essa cobertura vegetal e aumenta a impermeabilização com a pavimentação e a construção de edificações, reduzindo drasticamente a retenção e infiltração das águas pluviais e aumentando a evaporação e o escoamento superficial.

Isso resulta em graves alterações sobre o balanço hídrico e sobre o regime dos córregos. Durante os períodos chuvosos os cursos d'água possuem sua vazão significativamente acrescida e os sistemas de drenagem são sobrecarregados. Por outro lado, a recarga dos aquíferos é reduzida, o que pode reduzir as vazões mínimas durante a estação seca. Em relação à Cidade Estrutural, especificamente, a existência do Lixão e da ocupação ultrapassa 40 anos, com expansão expressiva nas últimas décadas e população de mais de 35000 pessoas, de modo que esse equilíbrio foi há muito tempo alterado (PROGEA, 2004).

### **3.2.2. Impactos na Qualidade da Água e nos Corpos Hídricos**

A poluição difusa originada do escoamento urbano é reconhecidamente uma das principais causas de degradação de corpos hídricos e pode, até mesmo, superar a contribuição pontual de efluentes sanitários (Lee e Bang, 2000, *apud* Zaffani, 2012; Baptista et al., 2005).

Em decorrência do escoamento superficial intensificado, as águas pluviais carregam para os corpos d'água uma elevada carga de poluição. Isso se deve à elevada quantidade de sedimentos acumulados nas superfícies impermeabilizadas de vias e calçadas. Grande parte da poluição encontra-se fixada em sedimentos ou dissolvidos em água, como nitratos, fosfatos e alguns metais como zinco e cádmio (Baptista *et al.*, 2005).

A erosão do solo também contribui para a poluição difusa e pode ser prejudicial para as técnicas compensatórias ao causar assoreamento das estruturas de armazenamento do sistema de drenagem. Deve-se lembrar que a carga difusa é de difícil mensuração uma vez

que sua origem não pode ser claramente definida, o que dificulta também as possibilidades de controle.

Um efeito importante a ser observado em áreas urbanizadas é a presença mais concentrada de cargas no início de um evento de precipitação, também chamado de *first flush effect*. Como a precipitação produz uma lavagem na atmosfera, os poluentes particulados são transportados pela água da chuva. Além disso, as primeiras águas de um evento transportam poluentes acumulados na superfície no período anterior às precipitações.

Estima-se que cerca de 15% a 25% da carga de poluição de origem pluvial é diretamente atribuída a poluentes atmosféricos captados pela ação da chuva (Chocat *et al.*, 1997, *apud* Baptista *et al.*, 2005). O restante está relacionado ao escoamento das águas pluviais sobre as áreas urbanas, que transportam os poluentes que se acumularam na superfície impermeável durante os períodos de estiagem.

Outro fator agravante é o depósito de sedimentos acumulados na rede de drenagem, que são colocados em suspensão e transportados pelo escoamento. Dessa forma, o escoamento pode conter concentrações significativas de sedimento e outras substâncias classificadas como poluentes, sólidos suspensos, metais pesados, nutrientes, matéria orgânica e bactérias. Algumas das fontes desses poluentes incluem a erosão de atividades de construção e também o próprio sistema de transporte urbano, devido a emissões de escapamento que contribuem com metais pesados e hidrocarbonetos (ASCE, 1992).

Gonçalves (2008) registrou a relação entre a expansão urbana e as alterações na qualidade dos corpos hídricos receptores da drenagem, por meio de amostragens nos rios tributários e reservatórios e utilização de índices de qualidade para o caso de Londrina, PR. O autor relaciona o processo de urbanização acelerada como um dos fatores mais importantes da degradação dos recursos hídricos. Além disso, percebe a crescente necessidade de investimentos em infraestrutura urbana e social decorrentes do acelerado crescimento populacional, que acaba por afetar de forma intensa a qualidade da água.

O caso registra também a relação entre o aumento da área impermeabilizada com o crescimento da urbanização, assim como a redução da qualidade da água decorrente do transporte de poluentes carregados pela drenagem, incluindo resíduos sólidos, compostos orgânicos, metais, óleos que terminam nos corpos d'água.

Vargas (1999) afirma que o escoamento pluvial de áreas urbanas contribui para a poluição orgânica de corpos d'água e, no caso de países em desenvolvimento, esse fator é intensificado pelo lançamento de efluentes sanitários sem o adequado tratamento. Além

disso, o uso de adubos químicos e agrotóxicos em áreas agrícolas também influenciam na contaminação de rios e águas subterrâneas, por meio do escoamento de águas pluviais.

Muitas cidades em países em desenvolvimento crescem rapidamente e sem o adequado planejamento. A falta de planejamento do uso da terra traz como consequência a degradação dos mananciais superficiais e subterrâneos pela disposição inadequada do esgoto, das águas pluviais e dos resíduos sólidos, além da ocorrência de inundações nas áreas urbanas (Tucci, 2006).

Um exemplo é o caso da Cidade Estrutural, objeto de estudo deste trabalho, que apresenta um histórico de ocupação diferente da cidade de Brasília, que foi planejada. A Cidade Estrutural se refere a uma área de ocupação espontânea e cujo sistema de drenagem foi implantado somente após a instalação das residências. A área urbanizada localiza-se à montante da sub-bacia da qual faz parte e, dessa forma, apesar de não receber contribuições de outros parcelamentos, essa região pode causar impactos em águas a jusante.

Na Cidade Estrutural, estima-se que seja elevada a carga de poluentes que chegam ao córrego Cabeceira do Valo, oriundas de fontes diversas como o uso de agrotóxicos das chácaras que margeiam o córrego e o carreamento de poluentes e resíduos que são diariamente depositados no Lixão. Além disso, a poluição do ar, carregada pelas primeiras chuvas, é intensificada pela poeira gerada devido ao fluxo de veículos em ruas não pavimentadas e por emissões de gás metano da queima dos resíduos do Lixão (Greentec, 2012).

Devido a essa série de fatores, é fundamental observar a qualidade da água no Córrego Cabeceira do Valo, afluente do Lago Paranoá. Esse aspecto ganha ainda mais relevância devido aos diversos estudos (Koide e Bernardes, 1998; Carneiro, 2002; Cavalcanti *et al.*, 2014) que revelam a possibilidade de contaminação do lençol freático na área de estudo devido ao Lixão localizado nas imediações da Cidade Estrutural e devido à ausência de impermeabilização apropriada do terreno.

Koide e Bernardes (1998) evidenciaram a tendência de propagação da contaminação em direção ao Córrego Cabeceira do Valo, a partir da análise da concentração de cloretos em poços de coleta de amostras. O estudo também registrou concentrações de metais como chumbo, que apresenta potencial de contaminação do lençol freático, rápida percolação e possível contaminação dos córregos próximos.

Os autores ressaltam ainda a necessidade de medidas a serem tomadas na área do Lixão, devido ao risco de contaminação dos recursos hídricos assim como pela

proximidade à área de preservação do Parque Nacional de Brasília e a área urbana e chácaras de produção de hortaliças.

Cavalcanti (2014) também confirma a tendência de migração da pluma de contaminação em direção ao Córrego Cabeceira do Valo e à área urbana da Cidade Estrutural, devido a uma maior declividade do Lixão na parte oeste e menor a leste, na área mais próxima ao Córrego Acampamento dentro do PNB e, portanto, uma contaminação em menor intensidade. Segundo Tchobanoglous (1993, *apud* Cavalcanti, 2014) a infiltração da água de chuva em aterros contribui significativamente para a formação de chorume, produto resultante da biodegradação da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos.

Assim surge a importância da gestão das águas pluviais, que tem como principal objetivo manter a vazão de pico das taxas de escoamento de uma área urbanizada em um valor igual ou menor que as taxas anteriores à urbanização. Com isso, é possível identificar a existência de problemas atuais ou futuros, assim como optar pelas soluções mais apropriadas para cada caso (Canholi, 2005).

### **3.3. A DRENAGEM NO PLANEJAMENTO URBANO**

As soluções de drenagem existentes atualmente buscam reduzir os danos da urbanização sobre o sistema hidrológico e urbano. Dessa forma, existem as *medidas não estruturais*, que se baseiam em regulamentos e programas, como a adequação do uso e ocupação do solo, sistemas de alerta ou realocação de populações vulneráveis. Existem também as medidas que se baseiam em obras de engenharia, com o objetivo de corrigir ou prevenir os impactos da urbanização, também chamadas de *medidas estruturais* (Canholi, 2005).

Deve-se ressaltar que tanto as medidas estruturais quanto as não estruturais devem ser consideradas no manejo de águas pluviais urbanas. Isso porque os efeitos das soluções aplicadas a nível local terão resultados em toda a bacia, visto que a drenagem é um fenômeno regional que não leva em consideração limites estaduais e municipais ou entre propriedades públicas ou privadas. A drenagem é parte de um subsistema do sistema de recursos hídricos e, por isso, deve ser considerada como parte do planejamento urbano (Canholi, 2005).

O sistema deve ser planejado desde o ponto de saída do projeto e não deve existir a premissa de que problemas podem ser transferidos de um lugar para o outro. De fato, uma estratégia de drenagem urbana deve ter multi-propósitos e considerar as características e funções do sistema de drenagem natural. Com isso, as características de projeto dependem

dos objetivos locais, que podem ser desde a redução do pico de vazão até a melhoria na qualidade da água, criação de espaços abertos em áreas urbanas, recreação, recarga de águas subterrânea e melhoria do valor de propriedade (ASCE, 1992).

Em países em desenvolvimento, os canais de drenagem urbanos normalmente funcionam como depósitos de lixo fora do período de chuva. Isso acarreta em uma cadeia de consequências como: o entupimento dos canais, seguido do aumento da ocorrência de inundações, dispersão de resíduos e poluição dos corpos hídricos (Gava e Finotti, 2013).

As práticas de gestão de águas pluviais são as mais diversas ao redor do mundo. As formas com que essa gestão pode ocorrer diferem ainda de acordo com o nível de urbanização, o clima local e a topografia, além de uma série de outros fatores. Os sistemas de drenagem devem ser projetados para atender aos requerimentos mínimos especificados pelas agências a nível local, regional, estadual ou nacional. Esses requerimentos se referem tanto à qualidade quanto à quantidade das águas pluviais (Durrans, 2007).

No Distrito Federal, a Agência Reguladora de Águas, ADASA, determina que a vazão de lançamento de ocupações que geram impermeabilização do solo não deve ultrapassar 24,4 l/s/ha, considerada a vazão pré-desenvolvimento para o DF. Em relação à qualidade, o Córrego Riacho Fundo é enquadrado como de Classe 2 (ADASA, 2013) e, portanto, deve atender aos parâmetros de qualidade da água estabelecidos pelo CONAMA para essa classe. E para tanto, é necessário que seus afluentes também estejam de acordo com esses parâmetros, como é o caso do Córrego Cabeceira do Valo, que foi objeto deste trabalho.

No Brasil, o sistema de esgotamento proposto é o separador absoluto, em que as águas pluviais e o esgotamento sanitário possuem sistemas diferentes desde a origem até a disposição. No entanto, quando isso não ocorre ou quando há falhas no sistema, o escoamento gerado pode carregar também esgoto doméstico não tratado, o que acarreta efeitos severos na saúde pública. Por isso, é de fundamental importância que o plano de drenagem esteja integrado no um plano de desenvolvimento urbano.

### **3.4. OS SISTEMAS DE DRENAGEM**

#### **3.4.1. Sistemas de Drenagem Convencionais**

Em um *sistema de drenagem clássico*, os componentes hidráulicos são estruturas que transportam as águas pluviais da região de origem até as instalações de armazenamento e posterior disposição no corpo hídrico. Esses sistemas se baseiam nos princípios higienistas que priorizam a rápida evacuação das águas pluviais das áreas urbanas por meio de

condutos, de modo a retirar a presença “nociva” da água nas ruas e prevenir doenças de veiculação hídrica (Baptista *et al.*, 2005).

São sistemas constituídos basicamente de dispositivos de microdrenagem – como sarjetas, bocas de lobo e condutos – e macrodrenagem – canais abertos e galerias. Outras instalações complementares são bueiros, dissipadores de energia e estações elevatórias de águas pluviais (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Componentes do sistema clássico de drenagem: (a) sarjeta e boca de lobo<sup>2</sup>; (b) galeria pluvial<sup>3</sup>.

As implicações desse sistema convencional, no entanto, são refletidas à jusante, em áreas que devem sucessivamente se adequar ao aumento do volume de água gerado pela contínua urbanização à montante. Além disso, esses sistemas não levam em consideração a qualidade da água, visto que é intensa a deposição de sedimentos de erosões das atividades urbanas e, principalmente, de resíduos sólidos pela falta de integração com esse componente do saneamento, o que resulta em sistemas de drenagem ineficientes e muitas vezes subutilizados.

Outro aspecto negativo desse sistema é a falsa ideia de controle de inundações que a canalização gera na população. Como consequência ocorre a ocupação de zonas ribeirinhas e de outras áreas vulneráveis pelas populações de baixa renda, resultante muitas vezes da falta de integração da drenagem com outros aspectos urbanísticos do planejamento urbano. Além disso, as soluções convencionais limitam outros usos potenciais da água em meio urbano como integração à paisagem urbana ou a prática de atividades esportivas e lazer (Baptista *et al.*, 2005).

### 3.4.2. Sistemas de Drenagem Alternativos ou Compensatórios

Uma visão alternativa na concepção de sistemas de drenagem surgiu partir dos anos 1970. Também denominadas *medidas compensatórias*, essas tecnologias têm como

<sup>2</sup> Fonte: <http://www.paranaportal.com.br/blog/2014/07/15/uso-de-materiais-alternativos-em-bueiros-vira-lei-em-curitiba/>.

<sup>3</sup> Fonte: <http://correiodopovo.com.br/blogs/cidades/?tag=uruguaiiana>.

prioridade neutralizar os impactos que a urbanização gera sobre os processos hidrológicos. Para tanto, é adotada uma visão global que toma a bacia hidrográfica como área de estudo, considera a alocação de espaços para acomodar o excedente do escoamento e integra o manejo de águas pluviais no planejamento urbano (Canholi, 2005).

O conceito de SUDS (*Sustainable Urban Drainage System*), por exemplo, surge com o objetivo de aumentar a infiltração no solo assim como de reequilibrar o ciclo hidrológico alterado pela rápida urbanização de bacias hidrográficas urbanas. Esse sistema moderniza o clássico sistema higienista, de modo a complementar as medidas convencionais com estruturas compensatórias (Agostinho e Poletto, 2012).

Essas técnicas, assim como as tradicionais, podem ser classificadas em medidas não estruturais e estruturais. O próprio planejamento da ocupação do solo urbano é um exemplo de medida não estrutural. Outras medidas incluem a sensibilização da população quanto à gravidade do problema e a educação ambiental com o fim de reduzir a poluição difusa e acúmulo de lixo nas ruas. As técnicas compensatórias estruturais, por sua vez, concernem à implantação de instalações lineares e bacias, assim como ações individuais de controle na fonte (Canholi, 2005).

Alguns exemplos de medidas de *controle na fonte* são poços de infiltração, valas e valetas de armazenamento ou infiltração, micro-reservatórios individuais e telhados armazenadores. Essas são medidas que conseguem se integrar ao ambiente de forma harmoniosa e contribuem para a melhoria da qualidade da água que fica temporariamente retida (São Paulo, 2012).

Quando o escoamento é recolhido de forma distribuída na bacia, a sua liberação para a jusante pode ser controlada e, dessa forma, os impactos podem ser reduzidos. Ao armazenar o volume de água advindo das áreas urbanas, as instalações compensatórias promovem a redução da energia cinética do escoamento superficial e ao mesmo tempo controlam a disposição dessas águas a jusante. (ASCE, 1992).

O principal objetivo dessas medidas é reduzir o pico de enchentes ao promover a infiltração de águas pluviais à mesma taxa que ocorria anteriormente à urbanização, por meio do armazenamento temporário, que pode ser realizado por detenção, retenção ou infiltração. No entanto, outros objetivos podem ser concomitantes, como recreação e lazer, além da melhoria da qualidade da água pela remoção de sedimentos (Canholi, 2005).

Isso é possível por meio da decantação que acontece durante o armazenamento da água nas estruturas de detenção, reduzindo volume de cargas pluviais recebido pelos corpos hídricos. Essas podem ser consideradas *ações de tratamento* das instalações, que

contribuem para a redução da poluição das descargas e reduzem a vulnerabilidade dos corpos receptores (Baptista *et al.*, 2005).

Gonçalves (2008) ressalta que algumas das alternativas para reduzir os impactos da impermeabilização do solo incluem a implantação de *pavimentos permeáveis* e *áreas de infiltração*, de modo a reduzir a transferência do aumento de vazão, volume e carga de contaminantes para jusante por meio do escoamento superficial, que normalmente ocorre em pavimentos impermeáveis tradicionalmente utilizados.



Figura 3.6 - Exemplos de medidas compensatórias: (a) estacionamento com pavimento permeável<sup>4</sup>; (b) detalhe de pavimento permeável<sup>5</sup>; (c) pavimento de resina porosa, utilizado para manter o solo permeável<sup>6</sup>.

São incluídas também as técnicas compensatórias *lineares*, assim denominadas por apresentarem a dimensão longitudinal mais significativa do que sua largura e profundidade (Figura 3.7). Por essa razão são facilmente associadas ao sistema viário, onde são comumente localizadas. Encontram-se normalmente em canteiros centrais, ao longo do sistema viário e em estacionamentos ou ainda em jardins e áreas verdes em geral.

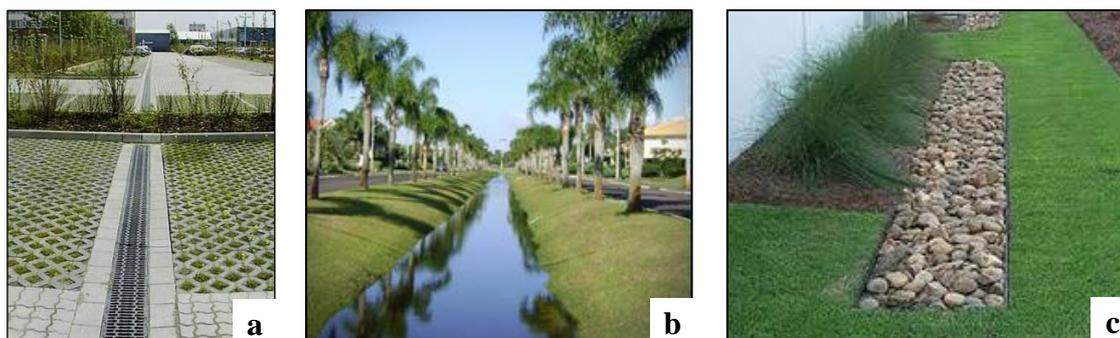


Figura 3.7 – Exemplos de medidas compensatórias lineares: (a) combinação de blocos vazados e trincheira de infiltração<sup>7</sup>; (b) vala de infiltração<sup>8</sup>; (c) trincheira de infiltração<sup>9</sup>.

As *trincheiras de infiltração e retenção*, por exemplo, são implantadas à superfície ou a pequena profundidade. As águas pluviais que afluem perpendicularmente ao seu

<sup>4</sup> Fonte: <http://www.al.sp.gov.br/geral/noticia/noticia.jsp?id=285702>

<sup>5</sup> Fonte: <http://www.revistaprisma.com.br/novosite/noticia.asp?cod=2943>.

<sup>6</sup> Fonte: <http://www.agrariaverde.pt/resina/resinaporosa.html>.

<sup>7</sup> Fonte: <http://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/>

<sup>8</sup> Fonte: <http://costaesmeraldaportobelo.com.br/drenagem.htm>.

<sup>9</sup> Fonte: <http://www.sudswales.com/types/source-control/infiltration-trenches/>.

comprimento são recolhidas diretamente pela superfície do sistema de coleta, o que permite a redução dos volumes escoados. No caso das trincheiras de infiltração a eliminação do volume coletado ocorre pela infiltração no solo, que tem como vantagem a recarga do lençol freático. Segundo Burchales e Silva (2007), a implantação de trincheiras de infiltração em terrenos residenciais em Londrina, foi capaz de reduzir em até 41% o aumento de escoamento superficial gerado pela impermeabilização do solo.

As trincheiras de detenção por sua vez, realizam o desague em meio natural após o armazenamento temporário, o que permite um retardamento das vazões escoadas. São constituídas por material granular graúdo como pedra, seixos ou brita. As trincheiras de detenção devem ser revestidas de material impermeável, enquanto as de infiltração devem possuir uma manta geotêxtil (Baptista *et al.*, 2005).

Outra técnica são as *valas, valetas e planos de detenção e infiltração*. São depressões escavadas no solo, onde a água é coletada diretamente pelo escoamento superficial e armazenada à superfície livre na estrutura. Podem servir para recolhimento e armazenamento temporário das águas pluviais, que serão posteriormente desaguadas (estruturas de detenção) ou ainda para favorecimento da infiltração no solo e favorecimento da recarga do lençol freático (estruturas de infiltração). Também são utilizadas junto ao sistema viário, em jardins e áreas verdes (São Paulo, 2012).

Outras alternativas além das estruturas lineares são as técnicas compensatórias localizadas. São instalações em espaços localizados e reduzidos que drenam superfícies pequenas ou médias. Algumas medidas incluem:

- Os *poços*, que são dispositivos pontuais de pequena área superficial, que eliminam a água diretamente por infiltração;
- Os *telhados armazenadores*, que contêm provisoriamente as águas pluviais e restituem uma vazão amortecida à rede de drenagem. Podem ainda ser integrados com outros projetos arquitetônicos e urbanísticos;
- Os *reservatórios individuais*, que realizam o controle de escoamentos e que permitem a utilização das águas pluviais para irrigação de áreas verdes, lavagem de veículos e sanitários, apesar de não atender aos requisitos de qualidade para consumo humano.

As medidas compensatórias adequam-se muito bem ao meio ambiente e ao tecido urbano, o que permite a associação de usos em áreas de estacionamento, lazer, prática esportiva e outros. Mais ainda, um mesmo empreendimento pode combinar diferentes tipos

de soluções técnicas de modo a incrementar os efeitos positivos de cada uma, realizando uma proteção em cascata da área (Batista *et al.*, 2005).

Essas técnicas permitem o controle da produção excessiva de escoamento e ainda possibilitam a utilização das águas pluviais. A implantação é flexível, o que permite que a aplicação das técnicas acompanhe o desenvolvimento urbano. Além disso, são medidas de baixo custo e que economizam gastos nas redes de drenagem por estarem dispostas de forma difusa na bacia hidrográfica. Por outro lado, assim como as demais medidas, é necessário realizar a manutenção das instalações pelos usuários, caso contrário, a eficiência do sistema pode ser prejudicada.

É importante notar também que são medidas capazes de melhorar substancialmente a qualidade de vida das cidades e favorecer a preservação do meio ambiente, de acordo com uma perspectiva de desenvolvimento sustentável. São tecnologias que evitam novos custos de remediação para a sociedade, ainda que o crescimento urbano continue em crescimento (Baptista *et al.*, 2005).

No entanto, as medidas podem ter o seu potencial prejudicado devido a fatores como a ocupação da bacia sem controle de impactos, o não cumprimento ao sistema separador absoluto, a ausência de políticas de controle de impactos, a desintegração dos diferentes componentes do saneamento como a coleta de resíduos sólidos, entre inúmeros outros (Tucci, 2004).

### **3.4.3. As Bacias de Detenção**

As bacias de detenção são estruturas capazes de armazenar o escoamento temporariamente e liberar esse volume ao longo de um período de tempo estendido. Sua função principal é o controle de inundações, além da redução de volumes de escoamento superficial e da poluição difusa de origem pluvial. O volume do escoamento resultante da urbanização não é reduzido, mas a descarga a jusante pode ocorrer durante um maior período de tempo (Durrans, 2007).

Na gestão de águas pluviais, o controle da qualidade da água pode ser obtido por meio de bacias de duplo propósito, que além de reduzir danos de cheias a jusante contribuem para reduzir a poluição difusa do escoamento superficial e, dessa forma, o espaço urbano ocupado pela bacia é potencializado. Quando essas estruturas condicionam água por um período de cerca de 12 a 36 horas podem ser usadas para aprimorar a qualidade da água armazenada, funcionando como bacias de sedimentação ao reduzir a concentração de materiais em suspensão (ASCE, 1992).

De acordo com Baptista *et al.*, 2005, bacias multifuncionais podem servir ainda como reserva ecológica ou áreas de lazer. As bacias de retenção secas, por exemplo, recebem água apenas em dias chuvosos e podem ser úteis para a prática de esportes ou praças públicas quando não utilizadas para armazenamento.

As bacias de retenção normalmente se localizam a jusante da área de coleta e a montante do ponto de descarga (Canholi, 2005). O efeito da bacia de retenção no escoamento pode ser observado na comparação entre o hidrograma de entrada da bacia e o hidrograma de saída, que se mostra substancialmente mais espalhado que o primeiro e com um menor pico de vazão (Figura 3.8).

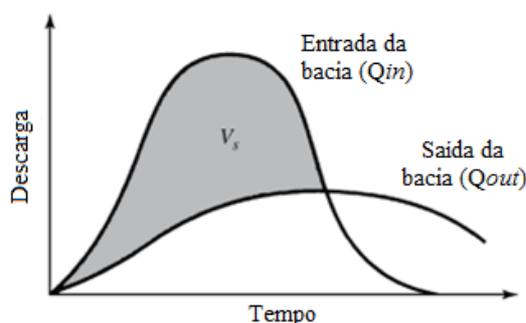


Figura 3.8 - Hidrogramas de entrada e saída de vazão da bacia de retenção. O volume de águas pluviais retidas durante e após um evento de chuva ( $V_s$ ) é a diferença entre os hidrogramas de entrada e saída da bacia<sup>10</sup>.

No entanto, sem a manutenção apropriada, as bacias podem sofrer assoreamento devido à elevada carga de sedimentos e até mesmo servir de criadouros de mosquitos ou outros insetos que trazem risco à saúde humana. Essas são estruturas que exigem um planejamento adequado e manutenção regular, assim como a preservação de áreas verdes nas proximidades, remoção de resíduos sólidos que venham a se acumular, além de desassoreamento e controle da qualidade da água (Baptista *et al.*, 2005).

Campana *et al.* (2007) comprovaram a eficiência hidráulica das estruturas de retenção em relação ao amortecimento das vazões de pico de ondas de cheia. Os autores registraram a redução da vazão de pico observada para bacias de retenção seca e alagada em 62,6% e 74%, respectivamente, em Brasília, DF.

Além disso, o estudo reiterou a capacidade desses dispositivos em reduzir a concentração de poluentes oriundos das águas pluviais que chegam a essas bacias. Evidenciou-se que as bacias de retenção podem reduzir poluentes como materiais em suspensão, principalmente devido ao processo físico de remoção, de modo que a bacia de

<sup>10</sup> Fonte: Adaptado de <http://hydroviz.win.louisiana.edu/drycanyon/map.html>.

detenção alagada assemelha-se a uma lagoa de estabilização e funciona similarmente a um reator bioquímico. Afirma-se ainda que a implantação de bacias de detenção pode contribuir assertivamente para a melhoria da qualidade das águas pluviais oriundas de áreas urbanas.

O emprego de bacias de detenção no Brasil tem historicamente o principal propósito de amortecimento de cheias, em detrimento de projetos voltados também à redução da poluição urbana de origem pluvial. Recentemente, no entanto, o emprego dessas estruturas tem sido mais bem vinculado aos projetos urbanísticos para aproveitamento de usos múltiplos como áreas de lazer e práticas esportivas, como a bacia da Figura 3.9, em Porto Alegre. Também tem crescido uma visão que, ao contrário dos princípios convencionais, valoriza a presença da água em meio urbano (Baptista *et al.*, 2005).



Figura 3.9 – Bacia de detenção de usos múltiplos, em Porto Alegre, RS<sup>11</sup>.

O uso de bacias de detenção é defendido por Campana *et al.* (2007) principalmente em áreas de densa ocupação, devido ao aproveitamento de espaços e aumento de infiltração que essa medida proporciona. No entanto, os autores ressaltam a sua onerosidade por este ser um sistema subutilizado ao longo do ano. Isso, principalmente, devido ao restrito período de chuvas na região de estudo, com duração de alguns meses apenas, enquanto os sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto, por outro lado, são utilizados continuamente. Dessa forma, a fim de potencializar o custo-benefício dessas infraestruturas, torna-se interessante agregar múltiplas funções a esses dispositivos no desenvolvimento dos sistemas de drenagem urbana, como a melhoria da qualidade das águas pluviais captadas.

<sup>11</sup> Fonte: [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p\\_secao=69](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=69)

No caso em estudo, na Cidade Estrutural, foram implantadas bacias de retenção e retenção com o objetivo de captar as águas pluviais das vias internas da cidade. No entanto, a eficiência dessa instalação é questionável e apresenta falhas, principalmente devido à falta de integração com o sistema urbano e a carência de bocas de lobo, o que intensifica os processos erosivos na bacia. Além disso, o acúmulo de resíduos nas proximidades da bacia promove a disseminação de focos de doenças e contaminação do córrego Cabeceira do Valo (Greentec, 2012).

O dimensionamento adequado das bacias de retenção também é um fator fundamental para garantir a sua eficiência. O PDDU (Concremat, 2008) orienta o dimensionamento de reservatórios com fins tanto de qualidade quanto de quantidade. No caso de bacias inferiores a 100 ha, o volume dos reservatórios de quantidade e qualidade podem ser obtidos, respectivamente, pelas equações (3.1) e (3.2).

$$V = (4,705 \cdot A_i) \cdot A \quad (3.1)$$

$$V_{qa} = 33,8 + 180 \cdot A_i \quad (3.2)$$

Em que:

V: volume do reservatório de retenção, em m<sup>3</sup>;

A<sub>i</sub>: proporção de área impermeável, em porcentagem;

A: área de contribuição, em ha.

No caso de bacias entre 100 ha e 200 ha, o volume do reservatório de quantidade deve ser determinado a partir da equação (3.3).

$$V = 0,06 \cdot \left( \frac{2,78 \cdot C \cdot a}{(t + b)^d} - q_n \right) \cdot t \quad (3.3)$$

Em que:

V: volume específico do reservatório, em m<sup>3</sup>/ha;

C: coeficiente de escoamento da bacia hidrográfica do método racional;

q<sub>n</sub>: vazão específica de capacidade da seção de saída da bacia, em L/s.ha;

t: duração, em minutos;

a, b e d: coeficientes da IDF(  $I = \frac{a}{(t+b)^d}$ ).

O coeficiente de escoamento pelo método racional é dado pelo grupo de equações:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.4)$$

$$C_p = \left[ \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad (3.5)$$

$$C = C_p + (C_i - C_p) \cdot A_i \quad (3.6)$$

Em que:

S: armazenamento, relacionado com o parâmetro CN;

P: precipitação total do evento;

C<sub>p</sub>: coeficiente de escoamento para áreas permeáveis;

C<sub>i</sub>: coeficiente de escoamento para áreas impermeáveis, geralmente 0,95;

A<sub>i</sub>: área impermeável.

A determinação do tempo de duração deve ocorrer por meio de um processo iterativo em que:

$$t = \left( \frac{t + S}{w} \right)^r - b \quad (3.7)$$

Onde:

$$w = \frac{qn}{2,78 \cdot a \cdot C(1-d)}; \quad S = \frac{b}{1-d}; \quad r = \frac{1}{d+1}.$$

### 3.5. MODELAGEM E SIMULAÇÃO

#### 3.5.1. Modelagem Hidrológica

Para melhor entender os impactos da urbanização no aumento do escoamento superficial é essencial uma visão global do funcionamento da bacia hidrográfica, de modo que a simulação computacional se revela um recurso muito valioso. Em relação ao estudo de águas pluviais, esses modelos podem ser usados para observar o funcionamento das estruturas de drenagem, a partir de elementos importantes como a hidrologia, as capacidades hidráulicas das estruturas do sistema e os impactos gerados, segundo Durrans (2007).

O autor esclarece ainda que a determinação do escoamento gerado durante um evento depende claramente dos dados de precipitação, a partir dos quais a predição hidrológica pode ser realizada. Isso pode ser feito para análise de um *evento* apenas, em que o volume resultante refere-se a um único evento de precipitação, ou ainda de modo *contínuo*, que simula o escoamento ininterruptamente incluindo tanto as estiagens quanto as precipitações. O primeiro é o método utilizado tradicionalmente em projetos de drenagem, mas o método contínuo tem ganhado importância devido às questões de qualidade da água.

Para a determinação da chuva de projeto, uma metodologia simples e comumente utilizada é a de *Blocos Alternados*. Esse método fornece um hietograma, que representa a precipitação ao longo do tempo, a partir da curva *intensidade x duração x frequência* (IDF). No caso do DF, o Plano Diretor de Drenagem Urbana (Concremat, 2008) fornece as orientações para a elaboração da chuva de projeto a partir desse método.

Dessa forma, a curva IDF indicada para Brasília pode ser representada pela equação (3.8).

$$I = \frac{1574,70 \cdot T^{0,207}}{(t + 11)^{0,884}} \quad (3.8)$$

Em que:

T: tempo de retorno, em anos;

t: duração, em minutos;

I: intensidade, em mm/h.

Assim, primeiramente deve ser determinado o tempo de concentração  $t_c$  da bacia, que pode ser determinado pela equação (3.9), de McCuen:

$$t_c = 135 \cdot i_p^{-0,7164} \cdot L^{0,5552} \cdot S^{-0,2070} \quad (3.9)$$

Onde:

$t_c$ : tempo de concentração, em minutos;

L: comprimento do talvegue, em km;

S: declividade, em m/m;

$i_p$ : intensidade da precipitação em mm/h.

Para a modelagem, deve ser considerada uma precipitação com duração total de 24 horas, pelo menos. O intervalo de tempo  $\Delta t$  a ser utilizado na modelagem deve ser no máximo igual à quinta parte do tempo de concentração encontrado.

Em sequência, a partir da curva IDF, devem ser determinadas as intensidades das precipitações máximas para o respectivo tempo de retorno e sua duração de acordo com o intervalo de tempo acumulado até o tempo total de precipitação. Com isso, podem ser obtidos os totais agregados de cada duração ao multiplicar a intensidade da chuva por sua duração. Em seguida, os incrementos de precipitação são obtidos pela diferença entre dois valores consecutivos dos totais agregados.

Por fim, deve ser realizada a distribuição temporal de modo que o pico da precipitação se localize a 50% do total da duração da chuva. Os demais valores de precipitação devem ser alocados em torno do pico alternadamente à direita e à esquerda,

partindo dos maiores valores. No caso do PDDU/DF, foram obtidos hietogramas para diferentes tempos de retorno.

### 3.5.2. O Modelo SWMM

O SWMM é um modelo dinâmico chuva-vazão que realiza a simulação do escoamento superficial em quantidade e qualidade, especialmente em áreas urbanas, capaz de representar um único evento de chuva ou uma simulação contínua de longo prazo. É um modelo versátil com inúmeras aplicações na análise de sistemas de drenagem de águas pluviais para áreas urbanas e também não urbanas. Foi inicialmente desenvolvido em 1971 e desde então tem sido aprimorado para atender as demandas de simulação hidráulica e hidrológica e apresentação de resultados em diferentes formas (SWMM, 2012).

Em relação ao escoamento superficial, o SWMM considera a área de estudo como um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem vazões de entrada – como precipitação e contribuições de áreas a montante – e geram vazões de saída – como infiltração, evaporação e escoamento superficial. O método utilizado é o *reservatório não linear*, em que cada uma dessas sub-bacias é considerada como um reservatório muito raso que irá gerar um escoamento superficial, cuja vazão é uma função não-linear da profundidade de água no reservatório (Figura 3.10). A partir dessa abordagem, o SWMM é capaz de computar o hidrograma de escoamento superficial (SWMM, 2012).

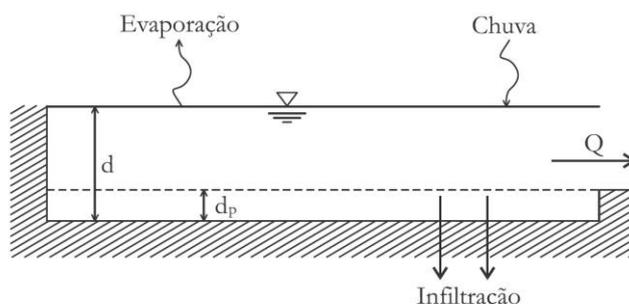


Figura 3.10 – Visão conceitual do fenômeno do escoamento no SWMM (Fonte: Adaptado de SWMM, 2012)

James *et al.* (2008, *apud* SHINMA, 2011) descrevem que o escoamento superficial gerado pelo SWMM ocorre quando o armazenamento no reservatório é excedido e a vazão de saída pode ser calculada a partir da formula de Manning:

$$Q = W \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} \cdot S^{1/2} \quad (3.10)$$

Em que:

W: largura da sub-bacia (m);

n: coeficiente de rugosidade de Manning;  
d: profundidade da lâmina d'água (m);  
d<sub>p</sub>: profundidade do armazenamento em depressão (m);  
S: declividade da sub-bacia (m/m).

Mais ainda, a continuidade para o reservatório pode ser expressa pela equação:

$$\frac{dV}{dt} = A \cdot \frac{dd}{dt} = Ai^* - Q \quad (3.11)$$

Em que:

V: volume de água sobre a subárea (m<sup>3</sup>);  
t: tempo (s);  
A: área da sub-bacia (m<sup>2</sup>);  
i\*: chuva efetiva (m/s);  
Q: vazão (m<sup>3</sup>/s).

A combinação das equações anteriores fornece:

$$\frac{dd}{dt} = i^* - \frac{W}{A \cdot n} \cdot (d - d_p)^{5/3} \cdot S^{1/2} \quad (3.12)$$

que pode ser resolvida pelo método das diferenças finitas. Ao considerar d<sub>1</sub> como início e d<sub>2</sub> como final de um intervalo de tempo (Δt), pode-se calcular a média dos fluxos de saída a partir da média entre as alturas de armazenamento, o que resulta em:

$$\frac{d_2 - d_1}{\Delta t} = i^* + \frac{WS^{1/2}}{A \cdot n} \cdot \left[ d_1 + \frac{1}{2} \cdot (d_2 - d_1) - d_p \right]^{5/3} \quad (3.13)$$

Devido aos impactos gerados pelo processo de urbanização, a simulação da qualidade da água – e não somente da quantidade – é de relevante interesse na utilização de modelos em áreas urbanas (Zaffani 2012). O SWMM mostra uma satisfatória performance na determinação da qualidade da água em diversos estudos e, por isso, foi importante determinar os usos do solo na área de estudo.

A utilização do SWMM por Costa (2013) revelou uma boa resposta do programa aos fenômenos hidráulicos e hidrológicos. Para realizar a simulação em seu estudo, foram determinadas as opções Chuva/Vazão, Fluxo e Qualidade da água e, em relação ao método de infiltração utilizou-se o SCS que utiliza CN (curva-número) como parâmetro. O modelo de transporte de onda dinâmica se baseia na equação de Saint-Venant e permite uma simulação mais acurada dos fenômenos envolvidos desde a precipitação até a disposição final pelo sistema de drenagem.

Além disso, foi necessária a determinação das classes de uso do solo e seus impactos no sistema de drenagem para a modelagem de cargas poluidoras, a fim de representar os processos de geração dessas cargas. Mais ainda, em relação à avaliação da qualidade da água, Costa (2013) optou por utilizar parâmetros como DQO, nitrogênio e fósforo, que são mais representativos e comumente utilizados em estudos similares, e também parâmetros físicos como turbidez, condutividade e sólidos.

Para a modelagem matemática é necessário ainda relacionar o uso do solo com a pedologia da região, de modo a obter a *curva-número* (CN, do *Soil Conservation Service*), que foi utilizada para simulação do SWMM. A informação de pedologia inclui a classificação hidrológica dos solos, que é um aspecto fundamental por fornecer a capacidade de infiltração para cada tipo de solo. A descrição das classes hidrológicas e a tabela de CN utilizadas como base neste trabalho foram obtidas de Tucci (1993) e estão apresentadas nas tabelas a seguir.

Tabela 3.1 – Grupo de solos e características do solo (Fonte: Tucci, 1993).

<b>Grupo de Solo</b>	<b>Características do solo</b>
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Tabela 3.2 - Valores do parâmetro CN para bacias rurais (Fonte: Tucci, 1993).

<b>Uso do solo</b>	<b>Superfície do solo</b>	<b>Grupo do Solo</b>			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94

	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Tabela 3.3- valores de CN para bacias urbanas e suburbanas (Fonte: Tucci, 1993).

Utilização ou cobertura do solo		Grupo do Solo			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas	Sem conservação do solo	72	81	88	91
	Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios	Em más condições	68	79	86	89
	Em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais	Cobertura ruim	45	66	77	83
	Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições	Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	Com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais	Lotes de (m <sup>2</sup> )	% média impermeável			
	<500	65	77	85	90
	1000	38	61	75	83
	1300	30	57	72	81
	2000	25	54	70	80
	4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 4.1.1. Histórico da Cidade Estrutural

O início da ocupação da Cidade Estrutural remonta da década de 1970, como resultado do acúmulo de resíduos sólidos, que foi um atrativo para os catadores de lixo ocuparem a região. Nesse período, as margens do Córrego Cabeceira do Valo eram predominantemente de uso rural com a presença de poucas habitações e, juntamente com o Córrego Acampamento, recebia as águas drenadas pela área (Greentec, 2012).

Apesar de diversas tentativas de desocupação, principalmente devido ao Parque Nacional de Brasília (PNB), o número de habitações se expandiu, agravando ainda mais as áreas naturais que foram ocupadas sem nenhum planejamento. Essa população permaneceu no local mesmo sem nenhum tipo de infraestrutura ou condições adequadas de saneamento.

A área somente foi reconhecida em 2002 pela Lei 530/2002, que garantiu a criação da Cidade Estrutural como Zona Habitacional de Interesse Social e Público (ZHISP), com faixa de tampão de 300 metros entre o assentamento e o PNB, como parte da Região Administrativa X, o Guará. Em 2004, por fim, foi elaborado o Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para obtenção de licenciamento ambiental que permitiria a regularização da área. O estudo foi elaborado como uma solução emergencial a curto prazo para a crítica situação dos habitantes.

O crescimento populacional da Cidade, de acordo com registros do EIA/RIMA, da antiga SEDUH (Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação) e da Codeplan (2014), podem ser visualizados na Tabela 4.1. A população atual é semelhante a de alguns municípios brasileiros, como evidenciado pela tabela Tabela 4.2.

Tabela 4.1 - Crescimento populacional da Cidade Estrutural (Fonte: PROGEA, 2004 e Codeplan, 2014).

<b>Ano</b>	<b>1993</b>	<b>2003</b>	<b>2011</b>	<b>2014</b>
<b>População (habitantes)</b>	1610	25123	32148	35801

Tabela 4.2 – População estimada de alguns municípios brasileiros em 2015 (Fonte: IBGE).

<b>Município</b>	Aparecida – SP	Bom Jesus do Itabapoana – RJ	Nossa Senhora da Glória – SE	Pilar – AL
<b>População (habitantes)</b>	36217	35964	35726	35295

Um fato importante é que esse número de habitantes se expandiu horizontalmente, ameaçando as áreas de proteção ambiental ao redor da região. Além disso, mesmo após a regularização da área, ainda existem inúmeros focos de invasão na Cidade, que permanecem sem qualquer infraestrutura de saneamento ou pavimentação, como é o caso do bairro Santa Luzia, ocupado por uma população de baixa renda sem qualquer qualidade de vida.

Imagens históricas da cidade revelam as transformações sofridas na área desde a década de 1960. A partir da imagem mais antiga, de 1964 (Figura 4.1), é possível ver a região quase completamente preservada. As imagens da década de 1970 (Figura 4.2), por sua vez, evidenciam o início da utilização da área como depósito de lixo de Brasília. Desse ponto em diante, é evidenciada uma explícita expansão urbana até a configuração atual, que pode ser vista na Figura 4.3.

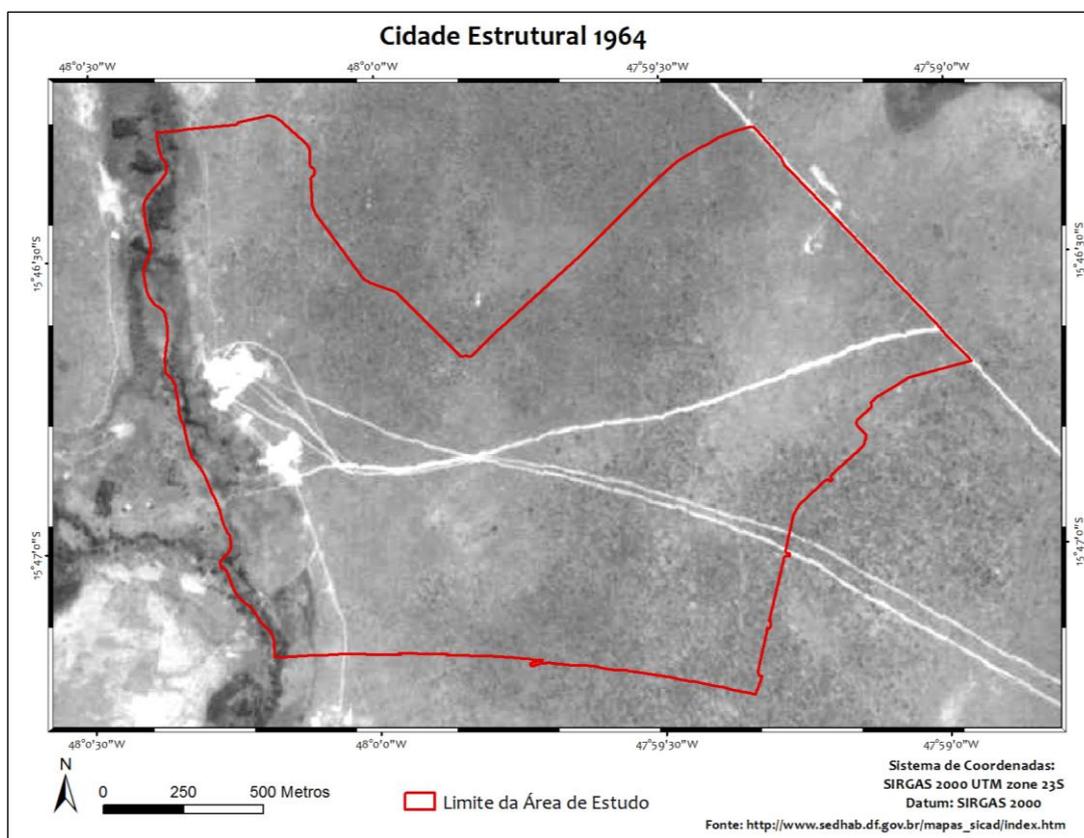


Figura 4.1 – Área da Cidade Estrutural anteriormente à ocupação, em 1964 (Fonte da imagem: SEDHAB).

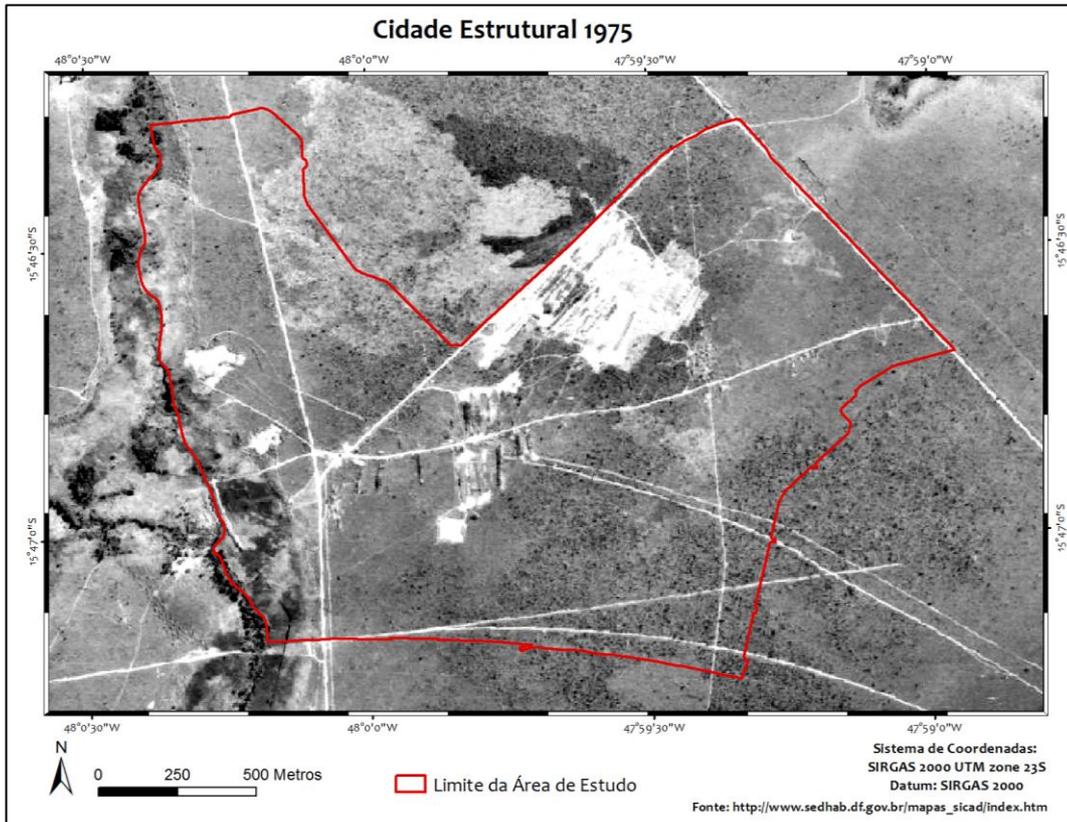


Figura 4.2 – Área da Cidade Estrutural durante o início do depósito de lixo, em 1975 (Fonte da imagem: SEDHAB).

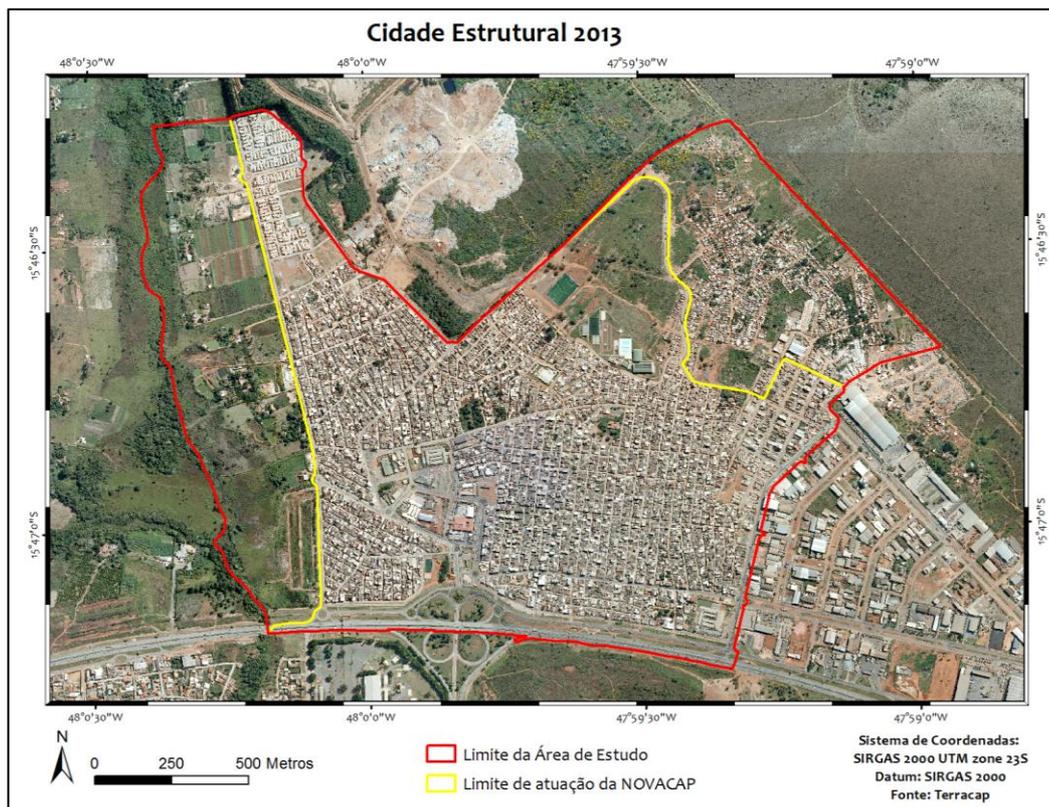


Figura 4.3 – Cidade Estrutural com a configuração atual de ocupação (Fonte da ortofoto: Terracap).

Percebe-se a partir dessa sequência de imagens uma evolução significativa do número de ocupações até a data da imagem mais recente, de 2013. Mais ainda, na Figura 4.3 é possível identificar a área de atuação da Novacap em relação às propostas do sistema de drenagem. No entanto, essa área não inclui o crescimento urbano recente que ocorreu principalmente na parte leste da Cidade, em direção ao Parque Nacional de Brasília (PNB), o chamado Setor Santa Luzia, nem as margens do córrego Cabeceira do Valo, mas se restringe à região mais antiga e densamente urbanizada da Cidade. Dessa forma, é notável a ausência de uma visão holística do projeto, que não considera todos os aspectos envolvidos na concepção dessa área urbana.

#### 4.1.2. O Lixão da Estrutural

A área que serve como disposição de lixo do DF está localizada na Cidade Estrutural, no divisor de águas entre as vertentes norte e sul do Lago Paranoá, correspondentes aos córregos Acampamento e Cabeceira do Valo, respectivamente. É percebido, no entanto, que ao longo dos anos existiu uma preocupação em dispor o volume de resíduos e terra de modo que o escoamento superficial das águas pluviais fosse favorecido para a vertente sul, rumo ao Cabeceira do Valo, fato esse influenciado também pelas condições naturais de declividade mais suaves na vertente norte que na sul (PROGEA, 2004), como pode ser visto na Figura 4.4.



Figura 4.4 – Perfil topográfico da área do Lixão no sentido norte-sul. Visada para leste (Fonte: Cavalcanti, 2014).

No Lixão há deposição de elevado volume de lixo, não compactado e não tratado, que libera significativa quantidade de gás metano. De acordo com PROGEA (2005) os ventos predominantes na região são de sudeste e nordeste e sopram no sentido do Lixão ao córrego, servindo como uma fonte de poluição por gás metano. Além disso, a queima de resíduos sólidos pelos moradores também contribui para a poluição atmosférica da Cidade e a disposição inadequada, para o carreamento de resíduos para os corpos hídricos (Figura 4.5).



Figura 4.5 – Cidade Estrutural<sup>12</sup>: (a) queima de resíduos sólidos pela população; (b) disposição inadequada de resíduos sólidos nas ruas da cidade.

Outro problema proveniente da presença do Lixão é a possibilidade de contaminação da água subterrânea, que está exposta à percolação de chorume devido à ausência de impermeabilização das cavas, tratamento de chorume ou disposição adequada dos resíduos sólidos. Segundo o Plano de Manejo da ARIE Cabeceira do Valo, a percolação das águas pluviais através dos resíduos sólidos é a principal responsável pela introdução de elementos poluidores no ciclo hidrológico. Isso porque a água que infiltra contribui para aumentar o volume de chorume existente na pilha de resíduos, de forma que a pluma de contaminação em direção ao córrego Cabeceira do Valo e ao PNB é intensificada.

Outro agravante durante o período de chuvas são as valas de contenção de chorume (Figura 4.6). Essas instalações não foram adequadamente planejadas e por vezes servem de deposição de lixo, o que reduz sua capacidade de armazenamento. Essas valas acabam por transbordar o volume excessivo de chorume para a pista adjacente, que em seguida é espalhado pelas vias da cidade devido ao fluxo intenso de caminhões (Greentec, 2012).



Figura 4.6 – Valas de contenção de chorume nas imediações do Lixão, com depósitos de lixo (Fonte: Greentec, 2012).

<sup>12</sup> Fonte: Projeto de Extensão de Ação Contínua. Engenharia Ambiental. Universidade de Brasília, 2015.

A presença do Lixão resulta também em impactos indiretos na Cidade. Os caminhões de lixo, por exemplo, circulam na região em um fluxo intenso e muitas vezes por vias ainda não pavimentadas, que dão acesso à área de disposição. O resultado é uma excessiva quantidade de poeira que contribui para a redução da qualidade de vida dos moradores das residências ao longo das vias de acesso e também das chácaras, que margeiam a via de principal acesso à área de disposição, além do chorume, dejetos e maus odores deixados pela passagem dos caminhões (Greentec, 2012).



Figura 4.7 – Cidade Estrutural<sup>13</sup>: (a) tráfego de caminhões de lixo nas proximidades dos Lixão; (b) poeira intensa em via próxima aos limites do Lixão.

#### 4.1.3. Aspectos Urbanísticos

A região de estudo referente à Cidade Estrutural possui uma área de cerca de 156 hectares e está localizada na Região Administrativa RA XXV – SCIA, a cerca de 15 km do Plano Piloto de Brasília, Distrito Federal. De acordo com o EIA, a região está delimitada: ao norte pelos limites do Lixão e pelas chácaras imediatamente vizinhas que ocupam a área até a DF-097, junto ao Parque Nacional de Brasília; a leste pela poligonal que limita o projeto do Setor Complementar de Indústria e Abastecimento (SCIA); ao sul pela DF-095, ou Estrada Parque Ceilândia – EPCL; e a oeste pela via de acesso às chácaras que margeiam o córrego Cabeceira do Valo, afluente do córrego Vicente Pires (Figura 4.8).

No EIA são consideradas ainda as áreas de influência do empreendimento, sendo áreas de influência direta (AID) as áreas de drenagem dos córregos Cabeceira do Valo, Acampamento e Guará, o Parque Nacional de Brasília, o poliduto da Petrobrás, incluindo a faixa de domínio da via Estrutural, a Área 2 da Floresta Nacional de Brasília, o Lixão do Jóquei e as chácaras e zonas rurais limítrofes. As áreas de influência indireta (AII), por sua vez, são a bacia hidrográfica do Lago Paranoá, a Região Administrativa do Guará, RA X e

<sup>13</sup> Fonte: Projeto de Extensão de Ação Contínua. Engenharia Ambiental. Universidade de Brasília, 2015.

a Região Administrativa do Cruzeiro, RA XI. O EIA também ressalta a criação da zona tampão, além de reurbanização e medidas de controle ambiental, como a remoção de todas as edificações localizadas em áreas consideradas de risco ambiental.

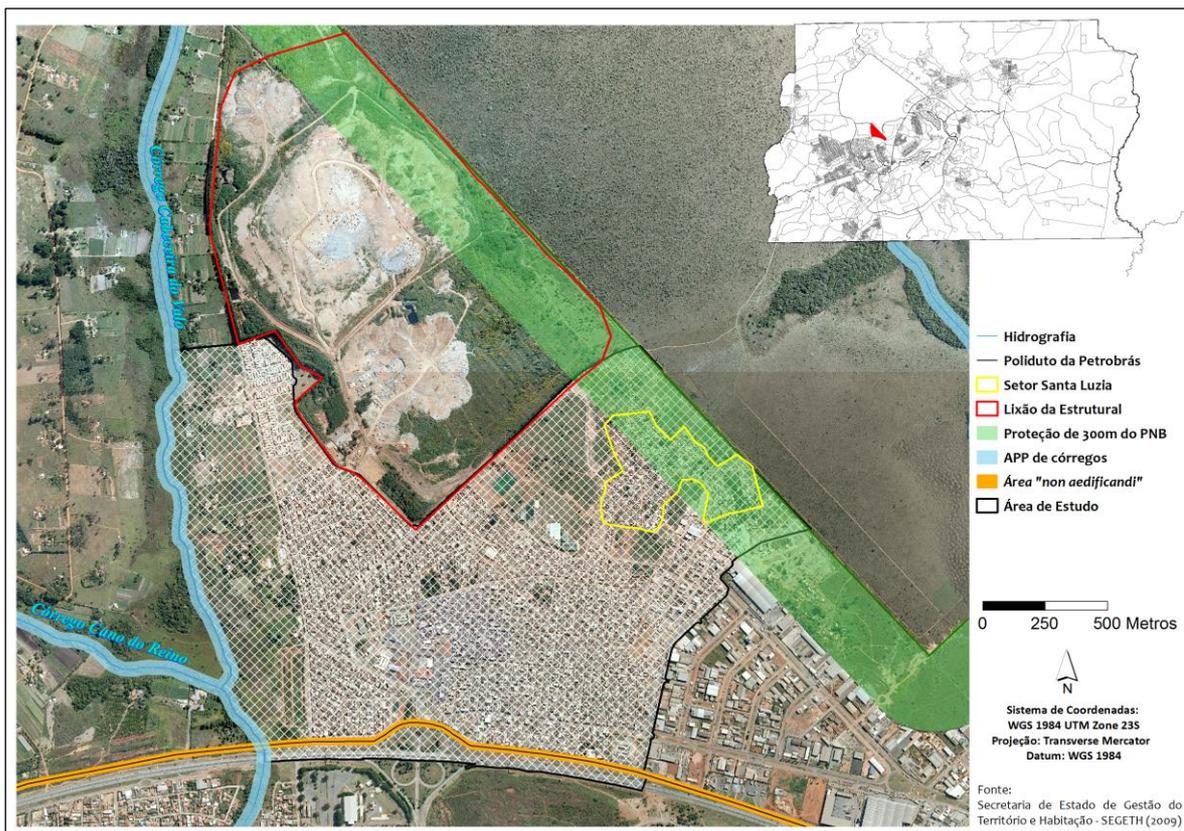


Figura 4.8 – Localização do SCIA/Cidade Estrutural no DF, com aspectos ambientais relevantes e pontos críticos na área de estudo.

#### 4.1.4. Aspectos Biofísicos e Climatológicos

Em relação à hidrografia, a Cidade Estrutural está inserida em três vertentes, que incluem os córregos Cana do Reino e Cabeceira do Valo, na área de drenagem do córrego Riacho Fundo, e córrego Acampamento, na área de drenagem do ribeirão Bananal. Todos esses córregos pertencem à bacia hidrográfica do Lago Paranoá, como pode ser visto em detalhe na Figura 4.9 (PROGEA, 2004).

Nas imediações da cidade estão as nascentes dos córregos Cabeceira do Valo e Acampamento. De acordo com o Código Florestal (Brasil, 2012), ambos possuem uma faixa de preservação de 30 metros para cada lado de suas margens, por serem de largura inferior a 30 metros. Na região não existem lagos ou lagoas naturais. (PROGEA, 2004).

O córrego Acampamento e o ribeirão Bananal estão inteiramente dentro da área do Parque Nacional de Brasília. Esses dois corpos d'água, após confluência, formam um dos dois braços da porção norte do Lago Paranoá. Outro aspecto relevante é que a rodovia DF

097, limítrofe ao Parque, acompanha o terreno natural e não possui estruturas que impeçam o escoamento das águas superficiais em direção ao PNB (PROGEA, 2004).

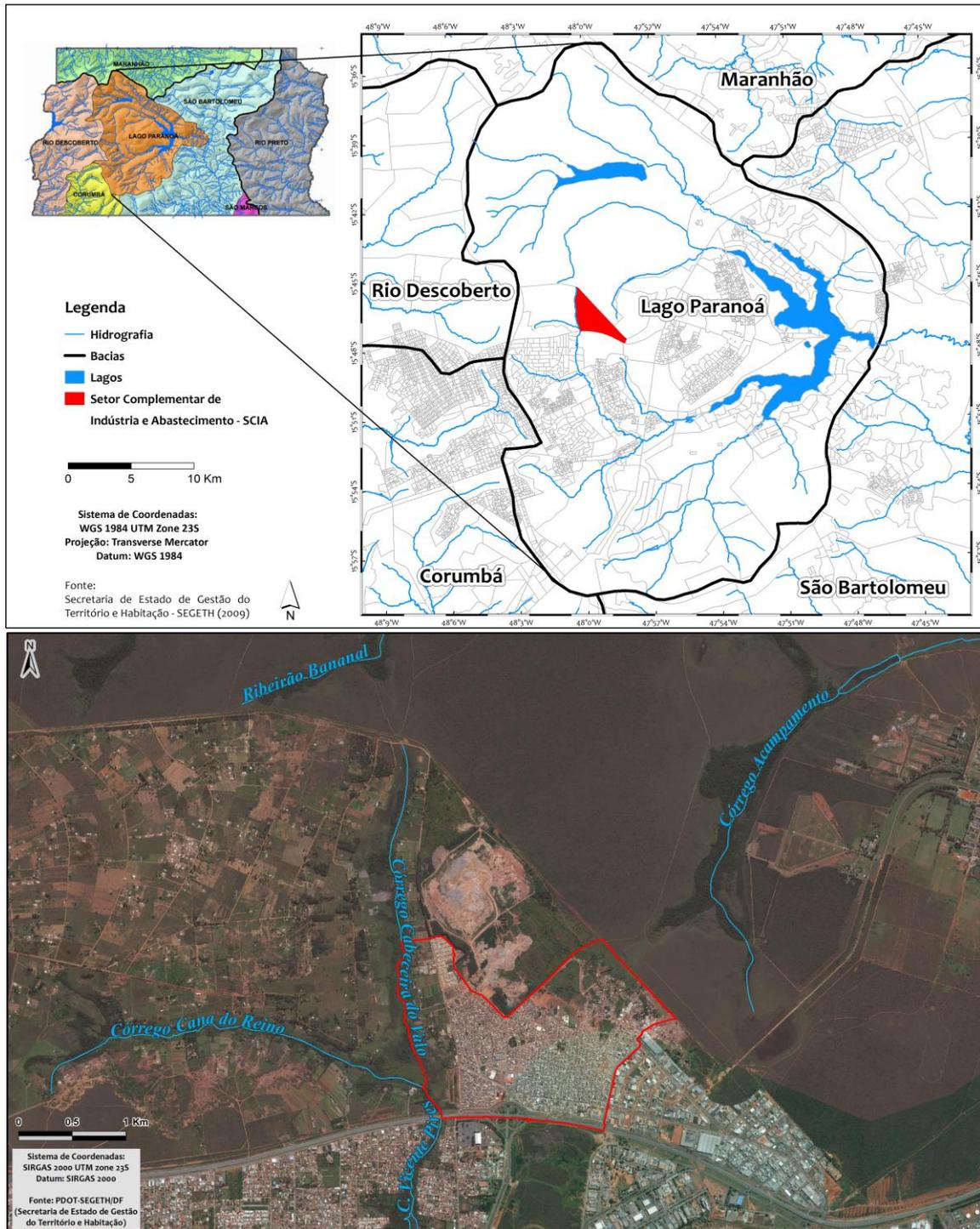


Figura 4.9 – Superior: Hidrografia do DF e localização da bacia do Lago Paranoá. Inferior: Detalhe da hidrografia da área de estudo, na Cidade Estrutural.

Na parte oeste da cidade, a principal vertente é a formada pelo córrego Cabeceira do Valo, que possui cerca de 3 km de extensão e limita a área de estudo. A sua confluência com o córrego Cana do Reino, pela margem direita, forma o córrego Vicente Pires. A

jusante desse ponto, as águas cruzam a DF 095 sob uma ponte e em seguida deságuam no córrego Riacho Fundo. Este, por fim, também contribui para a formação de um dos dois braços da parte sul do Lago Paranoá (PROGEA, 2004). A falta de infraestrutura de drenagem atua como uma das causas de poluição difusa dos córregos Acampamento, dentro do Parque Nacional de Brasília, e Cabeceira do Valo. Este, por sua vez, recebe cerca de 70% do volume de água advindo da impermeabilização do solo da Cidade Estrutural (PROGEA, 2004).

O córrego Cabeceira do Valo, apesar de possuir uma bacia contribuinte de dimensões reduzidas, é um curso d'água perene e que, juntamente com o córrego Cana do Reino, aflui ao córrego Vicente Pires, de relevante importância para o DF. O córrego é margeado por chácaras que utilizam os recursos hídricos dele provenientes para abastecimento e atividades produtivas que também auxiliam na preservação do curso d'água. São registradas atividades de avicultura, piscicultura e de plantio, mas é conhecido também o uso de defensivos agrícolas em algumas chácaras (Greentec, 2012).

Os aspectos meteorológicos da região também serão determinantes para o projeto do sistema de drenagem pluvial urbana. Segundo dados históricos, o clima no DF possui forte sazonalidade com estação de inverno fria e seca e de verão quente e úmida. Os meses de outubro a abril são os que registram historicamente os maiores índices pluviométricos, com maior concentração de dezembro a março. Essa caracterização pode ser evidenciada pelos dados pluviométricos da estação Jockey Club (01547018) da CAESB, que se localiza nas proximidades da Cidade Estrutural, a cerca de 2,5 km, e fornece dados de precipitação de 1978 a 2009 (Figura 4.10 e Figura 4.11).



Figura 4.10 – Médias mensais de precipitação para a Estação 1547018, do Jockey Club, referente ao período de 1978 a 2009 (Fonte: ANA-Hidroweb).

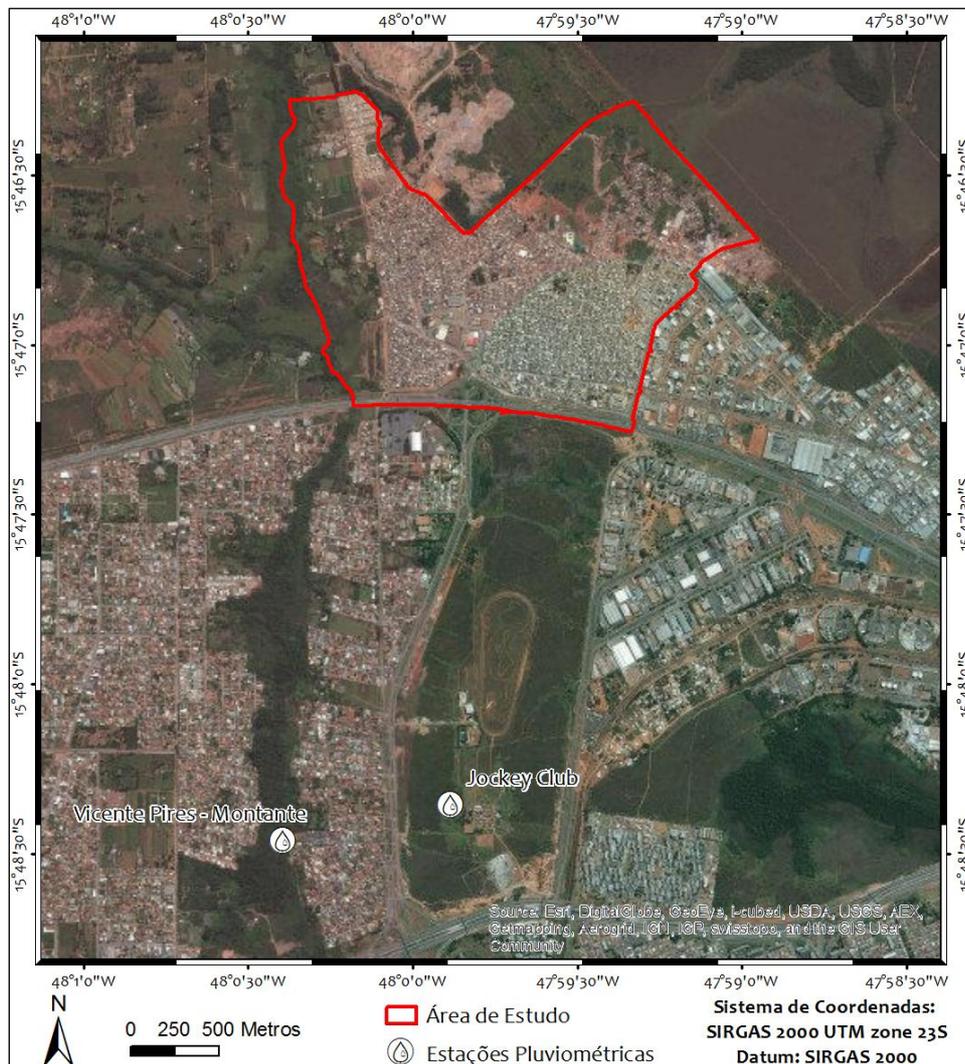


Figura 4.11 – Localização das Estações Pluviométricas nas proximidades da cidade.

## 4.2. SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DE CENÁRIOS

### 4.3.1. Base de dados

Alguns dos dados utilizados foram comuns para a modelagem de todos os cenários modelados. Esses dados incluem a geração do Modelo Numérico de Terreno (MNT), que foi obtido a partir das curvas de nível 1:2000 cedidas pela Codeplan.

Foi necessário obter as fotografias aéreas da região de estudo, disponíveis na página da SEDHAB, referentes aos anos anteriores à ocupação urbana na Cidade Estrutural. Para a modelagem foi escolhida a imagem do ano de 1964, que apesar de já apresentar algum impacto ambiental na área, como solo exposto e a presença de vias não pavimentadas, é a que mais se aproximava de um cenário de cobertura natural. As demais imagens tomadas como base para a elaboração dos cenários foram as ortofotos de abril de 2013 fornecidas pela Terracap, que apresentam uma resolução de 24 cm.

Para a utilização da modelagem matemática foi necessário determinar o uso e ocupação do solo na área de interesse. A geração dos mapas de uso do solo a partir dessas imagens foi realizada manualmente na escala 1:3000, com o auxílio do software ArcGIS 10.1. Para tanto, foram utilizadas as classes de uso do solo como definidas por Ferrigo (2014), quando pertinentes, na área de estudo em questão. Essas classes estão relacionadas com a impermeabilização do solo, como descrito na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Caracterização das classes de uso e ocupação do solo (Fonte: Ferrigo, 2014).

<b>Áreas Urbanizadas Alta Densidade</b>	Áreas de urbanização que apresentam mais de 70% de impermeabilização.	<b>Culturas Perenes / Fruticultura</b>	Área de cultura de plantas frutíferas, de ciclo perene.
<b>Áreas Urbanizadas Alta / Média Densidade</b>	Áreas de urbanização que apresentam entre 50 e 70% de impermeabilização.	<b>Mata de Galeria</b>	Áreas de vegetação típica ao longo das linhas de drenagem, localizando-se geralmente nos fundos dos vales, não apresentando caducifolia durante a estação seca e que apresenta uma superposição das copas.
<b>Áreas Urbanizadas Baixa / Média Densidade</b>	Áreas de urbanização que apresentam entre 30 e 50% de impermeabilização.	<b>Campo Limpo</b>	Áreas com vegetação predominantemente herbáceo-arbustiva, com arbustos e subarbustos esparsos e algumas árvores.
<b>Áreas Urbanizadas Baixa Densidade</b>	Áreas de urbanização que apresentam menos que 30% de impermeabilização.	<b>Áreas Vegetadas</b>	Áreas de vegetação com altura média do estrato arbóreo entre 10 e 30 m, apresentando uma superposição das copas de modo a fornecer cobertura arbórea de 60 a 100%.
<b>Vias Pavimentadas</b>	Rodovias e vias urbanas que apresentam sua superfície de rolamento com pavimento asfáltico ou de concreto.	<b>Solo Exposto</b>	Áreas com retirada total da cobertura vegetal, incluindo solos em pouso.
<b>Vias Não Pavimentadas</b>	Rodovias, vias urbanas e vias rurais que não apresentam pavimento asfáltico ou de concreto.	<b>Pastagem</b>	Áreas com vegetação predominantemente herbáceo e algumas árvores esparsas.
<b>Áreas Preservadas/ Cerrado</b>	Áreas de cerrado e cerradão, de vegetação nativa com predomínio de espécies arbustivas e herbáceas, e vegetação nativa de porte arbóreo apresentando dossel contínuo.	<b>Áreas Degradadas / Cascalheiras</b>	Áreas degradadas por intervenção antrópica. As cascalheiras são áreas de exploração de materiais de origem mineral.
<b>Reflorestamento de Pinus</b>	Áreas de plantio de árvores (silvicultura) com finalidade comercial ou de preservação, com espécies do gênero Pinus.	<b>Água / Pequenos Lagos / Açudes</b>	Áreas que contêm permanentemente uma quantidade variável de água.
<b>Reflorestamento de Eucalipto</b>	Áreas de plantio de árvores (silvicultura) com finalidade comercial ou de preservação, com espécies do gênero Eucalyptus.	<b>Áreas Alagáveis / Campos de Murundus</b>	Áreas predominadas por murundus (pequenas porções mais elevadas com espécies vegetais típicas do cerrado) e a porção rebaixada topograficamente, predominada por uma vegetação graminóide que sofre influência de inundações periódicas.
<b>Culturas Anuais / Olericultura</b>	Talhões de plantações de culturas temporárias e de ciclo anual.		

A informação de pedologia foi obtida a partir da base de dados SICAD (Sistema Cartográfico do Distrito Federal) que, juntamente com a informação do uso do solo gerada, determinou os valores de CN.

Além disso, os dados da rede de drenagem foram fornecidos pela Novacap, para auxílio na análise da infraestrutura existente e proposta. Esses dados incluem:

- Arquivos do cadastro de drenagem existente na Cidade Estrutural, em formato DWG;
- Relatório da proposta de drenagem elaborado pela empresa consultora – Cobrape, em formato DOC e respectivos arquivos, em formato DWG;

#### **4.3.2. Definição dos cenários**

A fim de se determinar o impacto que a urbanização acarretou na área de estudo, principalmente em relação ao aumento do escoamento superficial, foi realizada uma análise baseada na comparação de cenários. De acordo com Marques (2006), esse é um processo importante para auxiliar a tomada de medidas de gestão e controle da drenagem urbana, de modo a estabelecer uma análise integrada da bacia hidrográfica em estudo. O intuito das medidas de controle, portanto, é aproximar ao máximo ao cenário de pré-urbanização, de modo que a tomada de decisão depende da compreensão desse cenário assim como do cenário atual e do cenário projetado para o futuro, tendo em vista medidas que funcionem a longo prazo.

Dessa forma, o modelo SWMM foi utilizado na comparação dos seguintes cenários:

- a) **Cenário pré-urbanização (“pré-urbanizado”)**: pretende simular como era o comportamento do escoamento superficial na área de estudo anteriormente à ocupação urbana, considerando a cobertura natural nessa parte da bacia;
- b) **Cenário com urbanização e sem infraestrutura (“urbanizado”)**: pretende simular as alterações causadas no escoamento superficial devido ao aumento da impermeabilização causada pela urbanização da área de estudo;
- c) **Cenário com urbanização e com infraestrutura existente (“existente”)**: esse cenário deverá ser capaz de descrever a adequação do sistema de drenagem atualmente presente na cidade;
- d) **Cenário com urbanização e com infraestrutura proposta pela Novacap (“proposto”)**: espera-se que esse cenário represente a situação futura da

área de estudo para avaliar a eficácia do sistema de águas pluviais proposto pela Novacap;

- e) **Cenário com alternativas que podem ser implantadas (“alternativo”):** a partir do conhecimento adquirido ao longo do trabalho, pretende-se propor medidas de drenagem alternativas para reduzir o impacto da urbanização na área de estudo e em sua respectiva bacia hidrográfica.

#### **4.3.3. Geoprocessamento e Modelagem no PCSWMM**

Com o auxílio do software de sistema de informação geográfica (SIG) ArcGIS 10.1, a informação topográfica da região foi transformada no mapa de declividade. Além disso, esse programa permitiu a classificação do uso do solo a partir da análise das imagens de satélite da região.

Para utilização do PCSWMM, foram selecionadas várias opções de simulação, dentre as fornecidas pelo modelo. Em relação aos processos, foram selecionadas as opções Chuva/Vazão e Fluxo. O modelo de infiltração selecionado foi o do parâmetro CN (curva-número), do *Soil Conservation Service* (SCS). O método de transporte selecionado, por fim, foi da onda dinâmica, que soluciona as equações de Saint-Venant.

As sub-bacias necessárias para a simulação foram geradas automaticamente pelo PCSWMM, com base na informação de declividade do MNT. Em seguida, foram feitos ajustes manuais de modo a limitar cada sub-bacia à área de estudo e a usos de solo que pudessem ser agrupados de forma coerente. Por fim, as informações de CN foram associadas a cada sub-bacia com base nas informações geradas a partir do uso do solo e da pedologia, de acordo com cada um dos cenários a serem simulados.

O programa foi capaz de calcular automaticamente, por meio de uma média ponderada em relação à área, o CN de cada sub-bacia, que foram por fim relacionadas à porcentagem de impermeabilização. Esse processo foi realizado para associar o valor de CN correspondente às sub-bacias em cada um dos diferentes cenários. As sub-bacias com as divisões utilizadas em todos os cenários pode ser vista na Figura 4.12.

Para os cenários com rede de drenagem o coeficiente de Manning adotado nos condutos foi de 0,015, que é o valor utilizado no projeto da Novacap, e os poços de visita foram alocados como junções. O córrego também precisou ser acrescido à modelagem em forma de conduto e o coeficiente adotado foi de 0,040, como recomendação do manual do usuário. As informações de profundidade e dimensões dos poços de visita e dos condutos foram obtidas a partir dos desenhos de projeto fornecidos pela Novacap. A informação da

calha do córrego foi obtida diretamente do PCSWMM, a partir de seções transversais geradas com o auxílio do MNT.

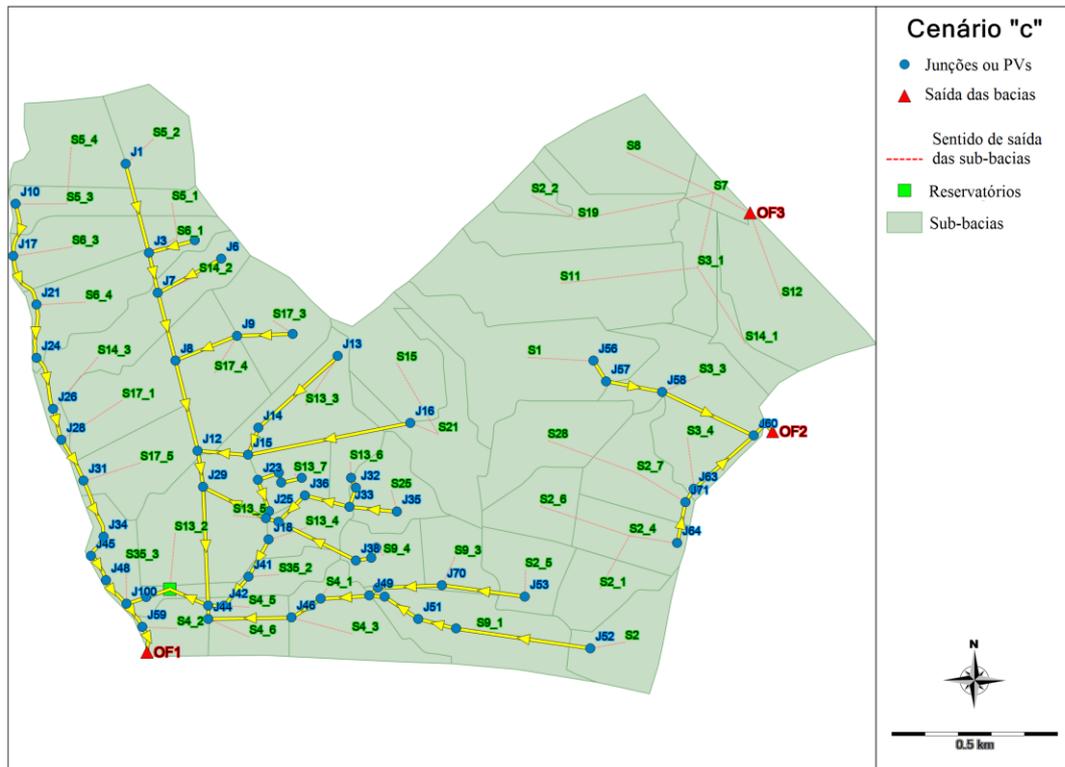


Figura 4.12 – Sub-bacias utilizadas na modelagem para todos os cenários propostos.

Em relação aos dados hidrológicos, não foi possível fazer a calibração do modelo devido à ausência de dados de vazão para os corpos hídricos estudados. Portanto, para a análise deste estudo, foram realizadas 2 simulações com fins comparativos entre os cenários:

- A primeira baseada na chuva de projeto utilizada na proposta da Novacap, que considera como curva IDF a equação (4.1).

$$i = \frac{21,7 \cdot T_R^{0,16}}{(t_c + 11)^{0,815}} \quad (4.1)$$

em que:

$i$ : intensidade da chuva, em mm/min;

$T_R$ : tempo de retorno, 5 anos;

$t_c$ : tempo de concentração para a primeira boca de lobo de cada trecho, 15 minutos;

- A segunda foi realizada com base nas instruções do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) do Distrito Federal, com a chuva de projeto obtida a partir da metodologia de blocos alternados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA

A classificação de uso do solo foi elaborada para os diferentes cenários que serão avaliados neste estudo, incluindo a imagem aérea de 1964, que se refere ao cenário pré-urbanização, e a imagem de 2013, correspondente ao cenário de atual ocupação urbana. O uso do solo para esses dois cenários podem ser vistos respectivamente nas Figura 5.1 e Figura 5.2.

A partir das figuras apresentadas é possível perceber a significativa mudança ocorrida na Cidade Estrutural ao longo das últimas décadas em relação ao uso e ocupação do solo. A Figura 5.1 mostra a predominância da vegetação natural em 1964, com a presença de poucas vias não pavimentadas e algumas áreas degradadas. Percebe-se também que as margens do córrego estão preservadas, em sua maioria, com a presença de matas de galeria e áreas alagáveis.

A Figura 5.2, por sua vez, que mostra o uso mais recente, evidencia uma área urbana altamente densa em sua maioria, com uma elevada porcentagem de impermeabilização, intercaladas por inúmeras vias pavimentadas, que aceleram o escoamento superficial. Em relação às margens do córrego, a área preservada foi drasticamente reduzida e substituída por áreas degradadas e culturas. É possível identificar ainda a presença da bacia de detenção, como sugerida pela Novacap dentro do projeto de drenagem urbana.

Além disso, foi necessário determinar a pedologia da região em estudo. A partir dessa informação, nota-se que a maior parte da cidade se encontra sobre solo pertencente ao grupo hidrológico A, ou seja, com elevada capacidade de infiltração. O outro grupo hidrológico presente na área é o D, com baixa capacidade de infiltração, mas está restrito à região das chácaras, na parte oeste da cidade (Figura 5.3).

De acordo com o Plano de Manejo da ARIE Cabeceira do Valo e os dados da Novacap, a área em estudo ocupa uma região elevada e relativamente plana que, como citado anteriormente, se localiza em um divisor de sub-bacias da bacia do Lago Paranoá, de modo que a norte da região está localizada a unidade hidrográfica Bananal e a sul, a unidade hidrográfica Riacho Fundo. As maiores declividades naturais variam de 8 a 20% nas áreas das chácaras próximas ao córrego Cabeceira do Valo, como pode ser visto na Figura 5.4.

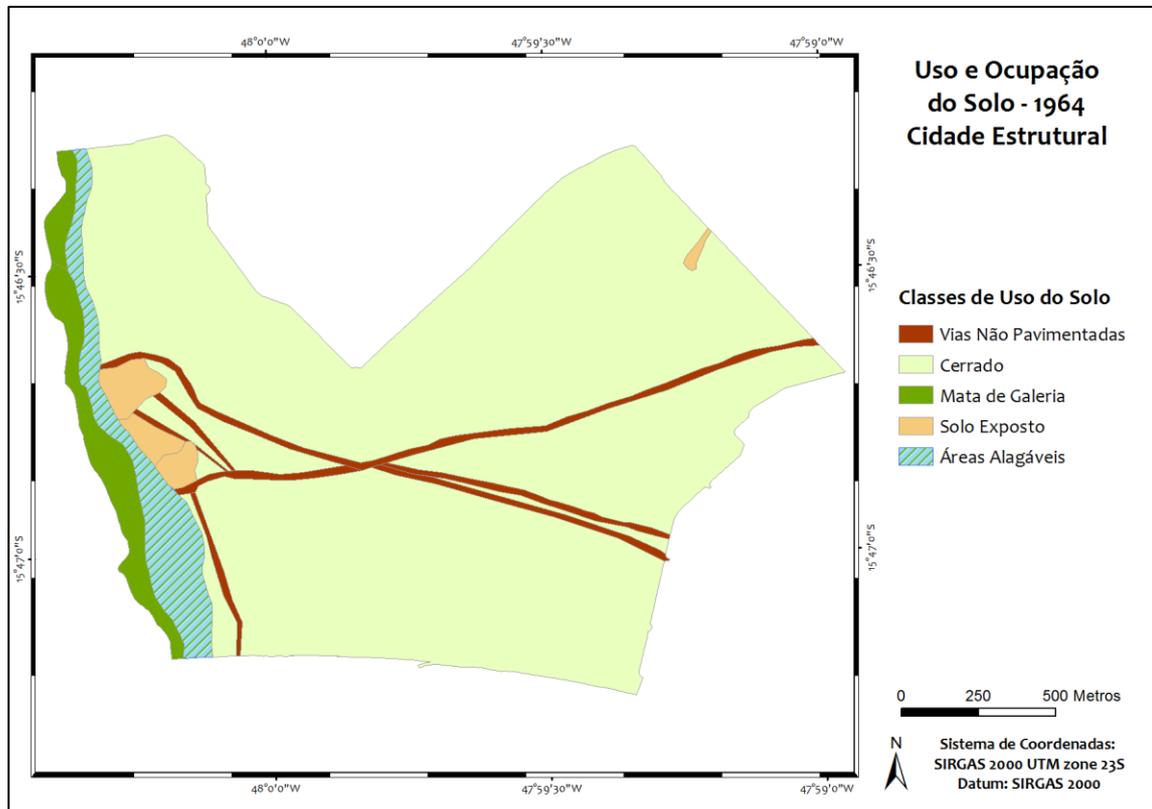


Figura 5.1 – Uso e ocupação do solo na Cidade Estrutural em 1964.

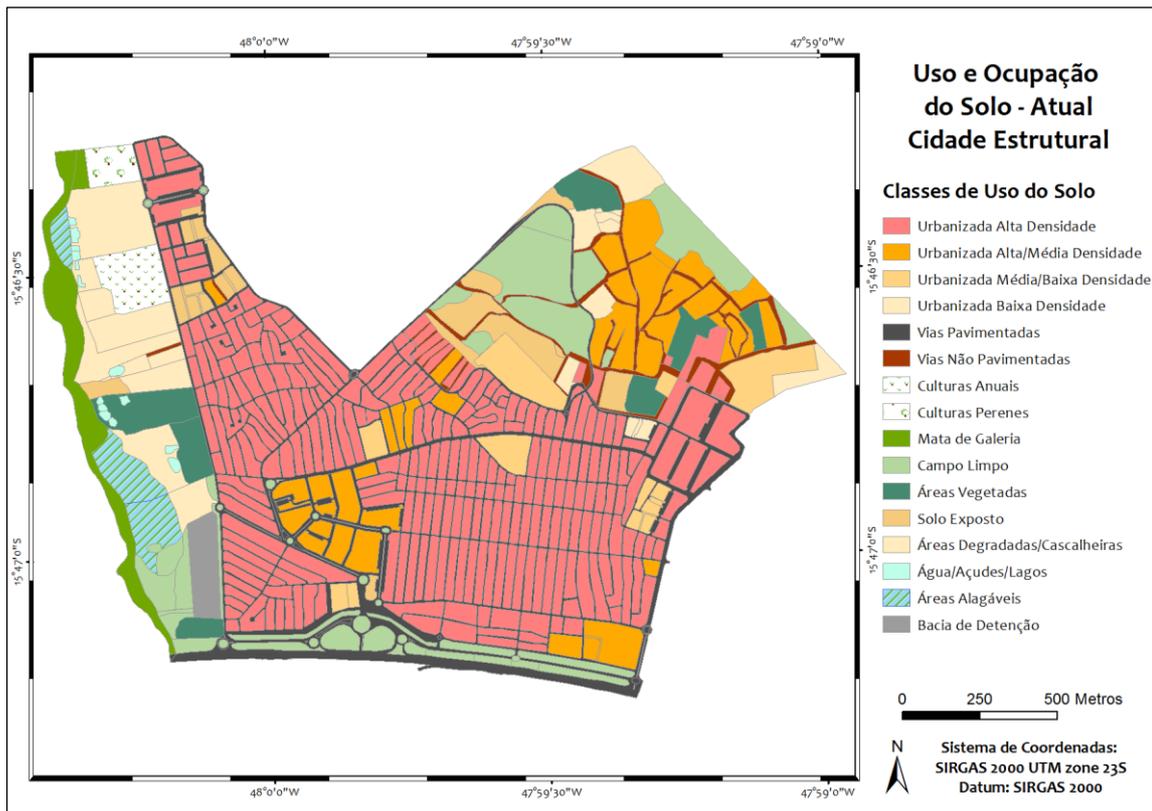


Figura 5.2 – Uso e ocupação do solo na Cidade Estrutural em 2013.

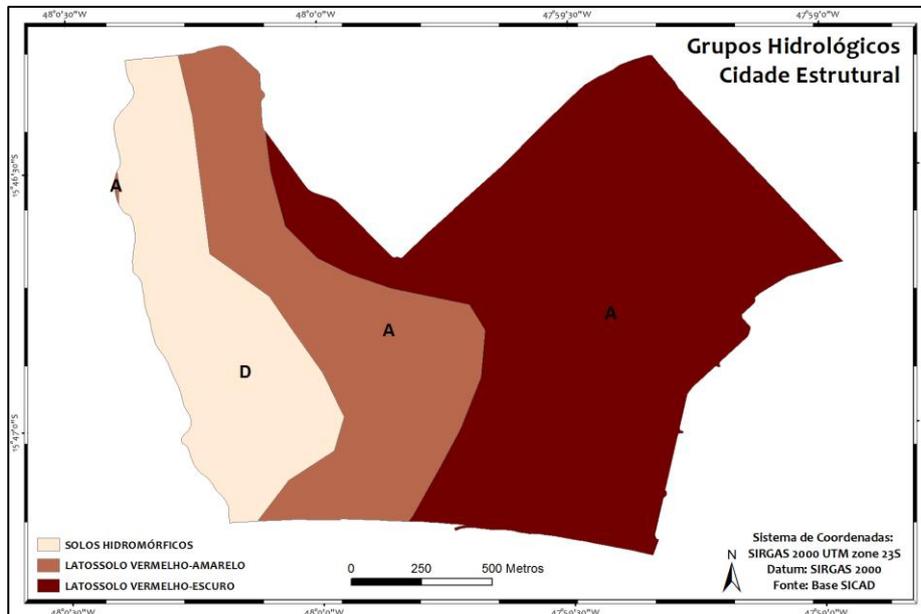


Figura 5.3 – Pedologia e grupos hidrológicos presentes na Cidade Estrutural.

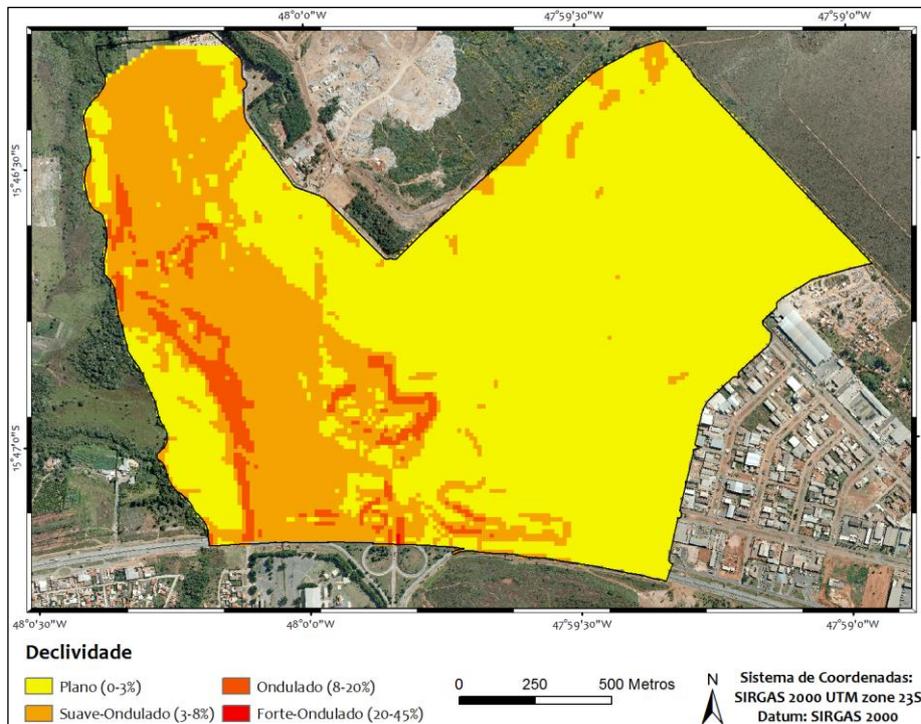


Figura 5.4 – Mapa de declividade na área da Cidade Estrutural.

## 5.2. A SITUAÇÃO DA DRENAGEM NA CIDADE ESTRUTURAL

### 5.2.1. Rede de Drenagem Existente

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (Concremat, 2008) identificou locais na Cidade Estrutural em que o sistema de drenagem pluvial é deficiente. Esses pontos, especificamente, incluem:

- Quadra 08 Conjunto 1, avenidas com alagamento;

- Avenida entre a Quadra 12 e a 10, próximo à Igreja Assembleia de Deus;
- Entrada da Vila Estrutural no Viaduto;
- Setor de Chácaras, na Cabeceira do Córrego do Valo, destacando-se a avenida;
- Quadra 15 Conjunto C, próximo à Igreja Cristã do Brasil;
- Área especial 03 praça central, em frente ao posto de saúde e o colégio;
- Entrada da cidade, entre o posto policial e o circo;
- Quadra 1/2, próximo ao conjunto C;
- Quadra 09, conjuntos F, G, H e D;
- Quadra 05/07, Conjuntos E e C;
- Quadra 11, próximo aos Conjuntos D e F;
- Quadra 12/17, o campo fica alagado;
- Quadra 02, conjunto A, em frente à quadra 12 Conjunto A;
- Quadra 15/13, avenida que liga ao Lixão.

O córrego Cabeceira do Valo é para onde a maior parte das águas pluviais se direcionam, sendo o receptor de grande parte do escoamento superficial da Cidade Estrutural. Segundo o EIA, cerca de 60% a 70% da área urbana da Cidade Estrutural drena naturalmente para a margem esquerda dos córregos Cabeceira do Valo e Vicente Pires. No entanto, a ausência de redes de drenagem eficientes permite que o escoamento das águas superficiais ocorra de forma não controlada, de modo que são carreados sedimentos, lixo, esgotos de fossas sépticas e toda espécie de materiais que estiverem dispostos na superfície, contribuindo para a poluição difusa.

No período seco também se observa a presença de escoamento a céu aberto, constituído principalmente por águas servidas e esgotos, reduzindo a qualidade de vida da população. Esses aspectos são ainda mais intensos na área de ocupação mais recente, o bairro Santa Luzia, que não possui nenhuma espécie de saneamento básico como água encanada, coleta de esgoto sanitário ou drenagem pluvial. Durante o período de chuva, o escoamento nessas áreas é ainda mais potencializado, intensificando o carreamento de sólidos e poluentes para os cursos d'água.

Em relação aos dados fornecidos pela Novacap, percebe-se que foram sugeridas duas soluções de drenagem que atendessem de forma independente ao escoamento das águas pluviais no sentido sudoeste, em direção ao córrego Vicente Pires (Bacia 1) e no sentido nordeste, em direção ao córrego Acampamento (Bacia 2). A primeira prevê o aproveitamento da bacia de retenção já existente na área. A segunda, por sua vez, deverá

ser vinculada ao sistema de drenagem do SCIA, para lançamento final no córrego Guará. A divisão das sub-bacias pode ser vista na Figura 5.5.

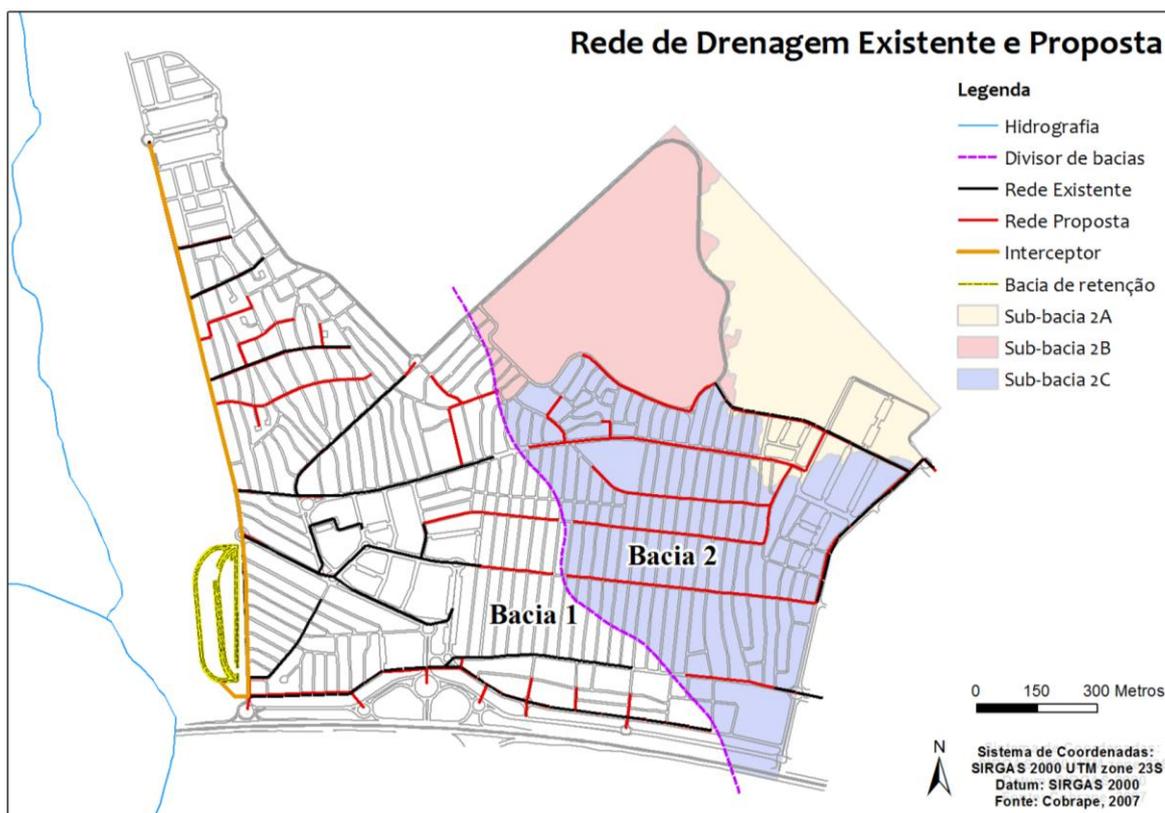


Figura 5.5 - Bacias de drenagem da Cidade Estrutural.

A bacia 1, na parte oeste da cidade, tem uma área de cerca de 105 hectares e é onde se localiza o córrego Cabeceira do Valo, as chácaras e a maior parte das habitações de toda a cidade. A via que limita a região das chácaras teve sua borda elevada para que as águas pluviais fossem impedidas de escoar para essa área. Como consequência, esse volume de água, juntamente com sedimentos e resíduos, escoam para a parte sul em direção ao Córrego Vicente Pires.

Segundo o relatório do plano de drenagem da cidade (Cobrape, 2007), a qualidade das águas deste córrego tem sido fortemente ameaçada tanto pela drenagem precária quanto pelo lançamento de esgotos sanitários da Cidade Estrutural e do Setor Habitacional Vicente Pires. Ainda assim, a bacia 1 possui a maior parte da drenagem proposta já instalada. Também é registrada a presença de dissipadores e bacias de contenção nas margens do córrego, na parte sul, que podem ser vistos pela Figura 5.6.

Greentec (2012) afirma que essas bacias foram construídas para atender à drenagem pluvial da cidade que verteria para o córrego Cabeceira do Valo. No entanto, essas estruturas se mostraram ineficientes durante as vistorias, dado que as águas pluviais correm

livremente até a bacia por um percurso não previsto para o seu recebimento. O resultado é o processo erosivo intenso na parte norte da bacia, enquanto o dissipador é subutilizado (Figura 5.6).



Figura 5.6 – Imagem de satélite ilustrando a Bacia de Contenção e o processo erosivo ocasionado pela falta de sistema de drenagem pluvial adequado (Fonte: Google Earth).

Essa erosão é intensificada também pela ausência de sistema de drenagem eficiente na área urbana, que resulta em intenso carreamento de sedimentos e lixo dispostos na superfície, como mencionado anteriormente. Em visitas de campo é possível perceber que muitos dos componentes de micro-drenagem, como as sarjetas e bocas de lobo, existem em quantidades insatisfatórias como pode ser visto na Figura 5.7.



Figura 5.7 – Cidade Estrutural<sup>14</sup>: vias sem bocas de lobo e sarjetas.

O resultado esperado para o córrego é o aumento de sólidos em suspensão, diminuição do oxigênio dissolvido, aumento da carga bacteriológica e favorecimento da

<sup>14</sup> Fonte: Projeto de Extensão de Ação Contínua. Engenharia Ambiental. Universidade de Brasília, 2015.

eutrofização. Esses fatores se tornam ainda mais preocupantes por influenciarem também os corpos hídricos à jusante, incluindo os córregos Vicente Pires e Riacho Fundo e, posteriormente, o Lago Paranoá (Greentec, 2012).

A bacia 2 por sua vez, do lado leste da cidade, possui uma área de 51 hectares, onde se encontram o restante das habitações da Cidade Estrutural, o parque urbano e a invasão Santa Luzia. Essa área drena principalmente em direção ao PNB, gerando um forte impacto no córrego Acampamento. Esse impacto é ainda mais intensificado devido à ausência quase que completa de rede de drenagem, que possui apenas uma pequena parcela da rede proposta instalada. Como consequência, todos os sedimentos e o esgoto não tratado, principalmente do Setor Santa Luzia, é carreado para área de preservação do Parque Nacional de Brasília.



Figura 5.8 – Entrada do Setor Santa Luzia<sup>14</sup>.

Greentec (2012) cita ainda os benefícios que podem ser adquiridos pela região com um adequado serviço de manejo de águas pluviais, como:

- Redução de impactos da chuva à ARIE Córrego Cabeceira do Valo, como erosões e poluição de rios e lagos;
- escoamento rápido das águas superficiais, facilitando o tráfego por ocasião das chuvas;
- Eliminação da presença de águas estagnadas e lamaçais, focos de doenças;
- Redução de gastos com manutenção de vias públicas;
- Valorização das propriedades existentes na área beneficiada;
- Redução de danos às propriedades e do risco de perdas humanas;
- Redução da incidência de doenças de veiculação hídrica.

### **5.2.2. Rede de Drenagem Proposta pela Novacap**

As propostas sugeridas pela Novacap à bacia 1 estão voltadas para soluções convencionais devido à intensa urbanização dessa área e incluem sarjetas, bocas de lobo e galerias pluviais. A proposta ressalta ainda que as soluções de infiltração são limitadas devido à alta taxa de ocupação e às características do solo da área. No entanto, uma parte considerável dessa bacia está sobre um solo pertencente ao grupo hidrológico A, o que evidencia, na realidade, boas condições de infiltração.

As galerias propostas para a bacia 1 devem ser implantadas no sentido leste-oeste, a favor da declividade natural, e de acordo com o sistema viário, de modo a reduzir os custos de implantação. Além disso, prevê-se a implantação de um interceptor ao longo da via limítrofe às chácaras, a fim de impedir que as águas pluviais cheguem até o Córrego Cabeceira do Valo.

O principal problema dessa proposta é a interrupção da alimentação do córrego, visto que o volume que chegaria por infiltração na bacia não será recebido devido à impermeabilização do solo e o que chegaria pelo escoamento superficial, por sua vez, será interceptado pela rede de águas pluviais. Por fim, o córrego receberá apenas as águas potencialmente contaminadas que infiltrarem na região do Lixão, e as águas do lado oeste do córrego.

O último aspecto da proposta à bacia 1 são as bacias de retenção de dupla finalidade, ou seja, irão atuar como estrutura para melhorar a qualidade da água lançada e para amortecimento dos picos de cheia. A implantação dessa bacia inclui também a instalação de um dissipador e um emissário final.

Em relação à proposta de complementação da rede de drenagem da bacia 2, esta foi dividida em 3 sub-bacias: A, B e C (Figura 5.5). Pretende-se desocupar e recuperar toda a área com cota inferior a 1100 metros (Sub-bacia 2A), além de reflorestamento ou instalação de parque urbano de uso restrito. Além disso, a área pertencente ao antigo aterro também se encontra na bacia 2 e deve receber a mesma solução (Sub-bacia 2B). Essas duas sub-bacias devem ser drenadas de forma natural, de modo a aproximar o escoamento às condições naturais pré-urbanização.

Observa-se que o setor Santa Luzia está localizado principalmente na bacia 2A. A solução da Novacap propõe uma recuperação da região que invade a área de proteção do PNB. No entanto, nenhuma sugestão é apresentada em relação à viabilidade dessa proposta, que apesar de ambientalmente preferível, pode acarretar em diversos problemas

sociais, principalmente devido à elevada resistência da população em ações de remoção, que normalmente resultam em sérios conflitos.

A proposta à terceira parte da bacia 2 (Sub-bacia 2C) também recorreu à soluções convencionais, devido à elevada taxa de impermeabilização gerada pelas habitações. A proposta consiste em direcionar a drenagem pluvial para a Bacia do Córrego Guará, por meio de ligação com a drenagem existente do Setor Complementar de Indústria e Abastecimento – SCIA. Dessa forma, as galerias devem ser implantadas favorecendo a declividade natural e de acordo com o sistema viário, de modo a reduzir os custos de implantação.

Essa proposta consiste fundamentalmente na implantação de galerias para lançamento das águas pluviais, devido à elevada taxa de ocupação urbana. Essa solução, no entanto, não leva em consideração a visão holística da bacia e as consequências que esse lançamento pode acarretar a jusante da área, mas apenas procura atender às demandas estabelecidas no licenciamento ambiental. Além disso, emprega uma medida convencional que procura afastar as águas pluviais do meio urbano.

### **5.2.3. Propostas alternativas para o manejo de águas pluviais**

Para ser eficiente, o manejo de águas pluviais requer, antes de tudo, uma integração com os demais componentes do saneamento, no âmbito do planejamento urbano. Por tanto, as propostas aqui apresentadas devem ser contextualizadas em um cenário favorável para a sua introdução. Isso inclui a pavimentação adequada em todas as vias da cidade, a coleta e tratamento de esgotos sanitários dentro do sistema separador absoluto, o sistema de abastecimento de água plenamente instalado e a coleta e disposição adequada de resíduos sólidos em funcionamento, pelo menos. Do contrário, o sistema de drenagem terá suas capacidades limitadas, tanto em relação ao volume de águas pluviais a ser amortecido, quanto à qualidade de água que será despejada no corpo receptor.

Posto isso, podemos observar medidas não estruturais que podem ser implementadas do ponto de vista da urbanização da cidade. Parte da área ocupada pelo setor Santa Luzia, por exemplo, ocupa uma região que não está dentro dos limites da área de proteção do PNB, mas que também não é considerada dentro do perímetro urbano da Cidade Estrutural. Um projeto de verticalização nessa área e em suas proximidades poderia atender a todas as famílias que ocupam irregularmente esse espaço, além de garantir a recuperação da área de proteção do Parque.

Um exemplo que se adequaria a essa alternativa pode ser visto na Figura 5.9, uma das propostas do arquiteto João da Gama Filgueiras Lima, o Lelé, ao programa de habitação social Minha Casa, Minha Vida. Mais ainda, essa proposta poderia incluir as mais diversas técnicas compensatórias de drenagem urbana, como reservatórios, telhados armazenadores, sarjetas permeáveis com valas de infiltração, além de uma densa presença de áreas verdes.



Figura 5.9 – Propostas do arquiteto Lelé para o programa de habitação social Minha Casa, Minha Vida<sup>15</sup>.

Outra área que poderia ser incluída nesse projeto é a referente à área da bacia 2B, que serve atualmente como parque urbano por estar situada sobre o antigo lixão, que pode ser visto na Figura 4.2, de 1975. Para esse novo cenário, a proposta é que essa área seja recuperada e que possa também ser utilizada para ocupação das famílias de baixa renda.

Em relação às demais áreas da cidade, que são intensamente urbanizadas, poderiam ser implantadas medidas na fonte para aumentar a permeabilidade, como valetas de infiltração ao longo das vias principais e coletoras, reservatórios individuais nas residências para reaproveitamento de água e ocupação de áreas ociosas com parques verdes. O objetivo principal é que classes de áreas urbanizadas possam reduzir a sua impermeabilização de modo a alcançar valores de CN menores.

<sup>15</sup> Fonte: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx>

Por fim, as bacias de retenção e detenção, que são subutilizadas devido ao restrito período de chuvas do DF, poderiam receber usos múltiplos e serem também ocupadas pela poluição durante o período de seca. Um exemplo pode ser visto na Figura 5.10, que integra uma bacia de detenção de usos múltiplos a um parque linear.

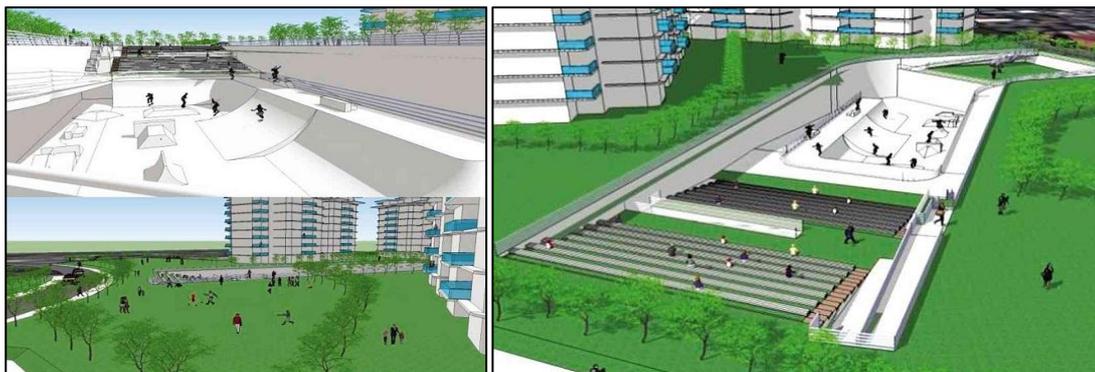


Figura 5.10 – Proposta de bacia de detenção integrada à parque linear com usos múltiplos de pista de skate e anfiteatro, em Makati, Filipinas<sup>16</sup>.

### 5.3. MAPAS DE PERMEABILIDADE UTILIZADOS NA MODELAGEM

A partir da metodologia descrita de obtenção do parâmetro curva-número, foram obtidos os valores de CN para cada classe de uso do solo em cada um dos cenários a serem simulados. As Figuras de Figura 5.11 a Figura 5.14, mostram os resultados obtidos na determinação desse parâmetro.

Em uma primeira tentativa de simulação não foi possível comparar os diferentes cenários devido à elevada impermeabilização do solo dos cenários urbanizados, o que causou inundação nos poços de visita e, portanto, não correspondia ao real valor de vazão na saída das bacias.

Ainda que os dados tenham sido aplicados da forma mais próxima à realidade possível, deve-se notar que a determinação do parâmetro CN pode não ser compatível com a realidade da região, dado que é uma metodologia empírica desenvolvida nos Estados Unidos. A fim de contornar esse problema, foi realizada uma redução de 10% dos valores de todos os CN apresentados, determinada por meio de tentativas. Dessa forma, a ocorrência de inundações nos poços de visita foi evitada e os cenários puderam ser comparados com sucesso.

<sup>16</sup> Fonte: <http://opinion.inquirer.net/64553/building-disaster-resilience>

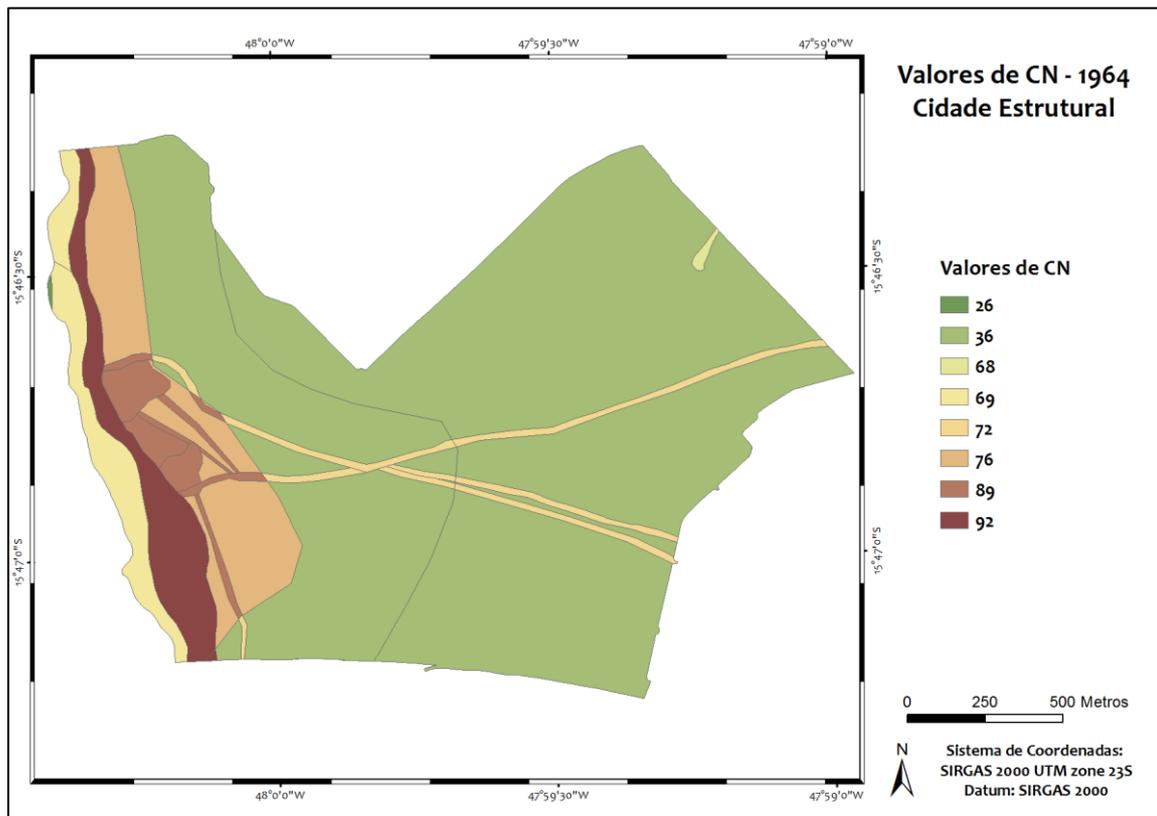


Figura 5.11 – Valores de CN para o cenário “a”.

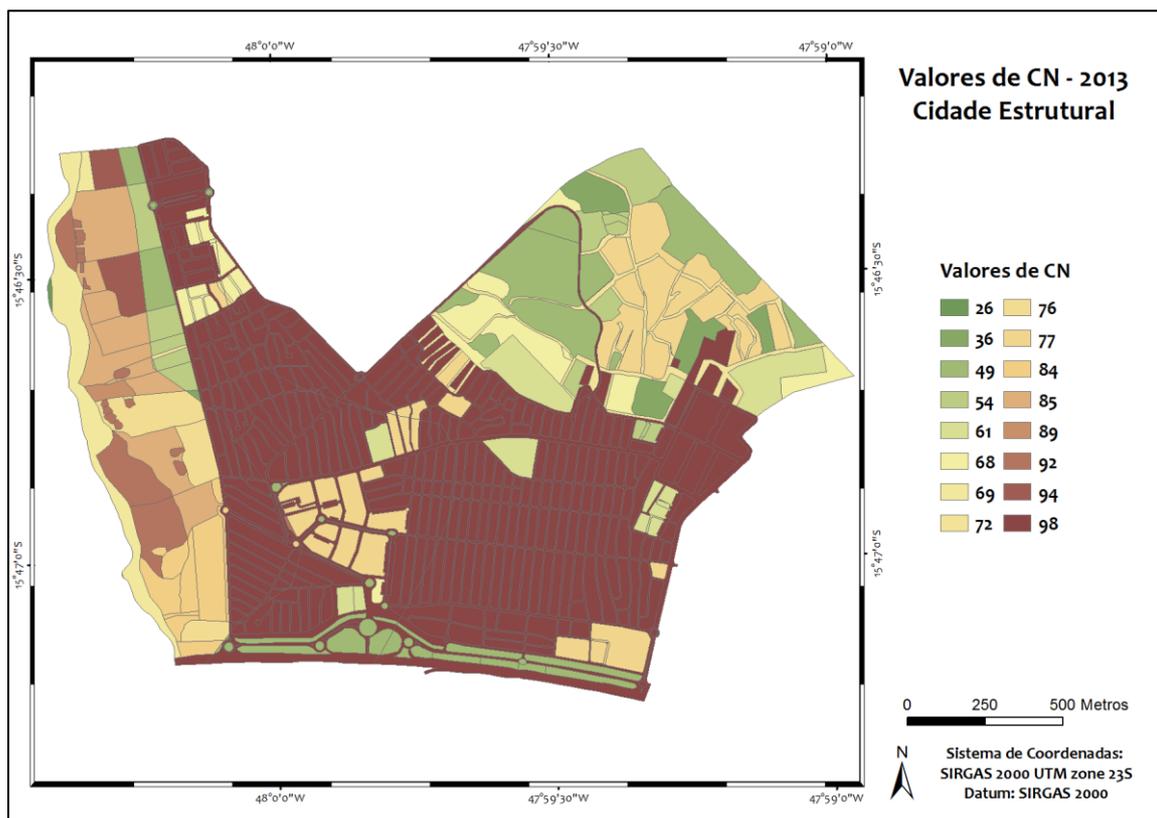


Figura 5.12 – Valores de CN para os cenários “b” e “c”.

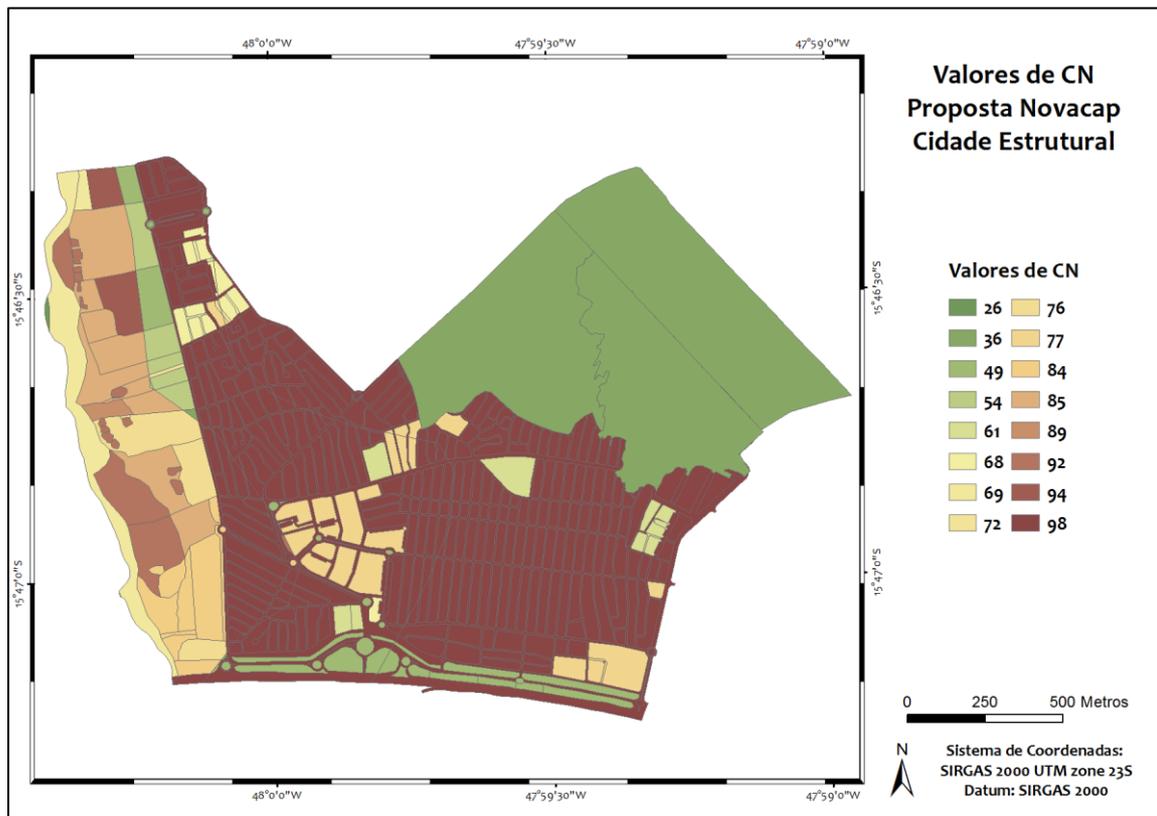


Figura 5.13 – Valores de CN para o cenário “d”.

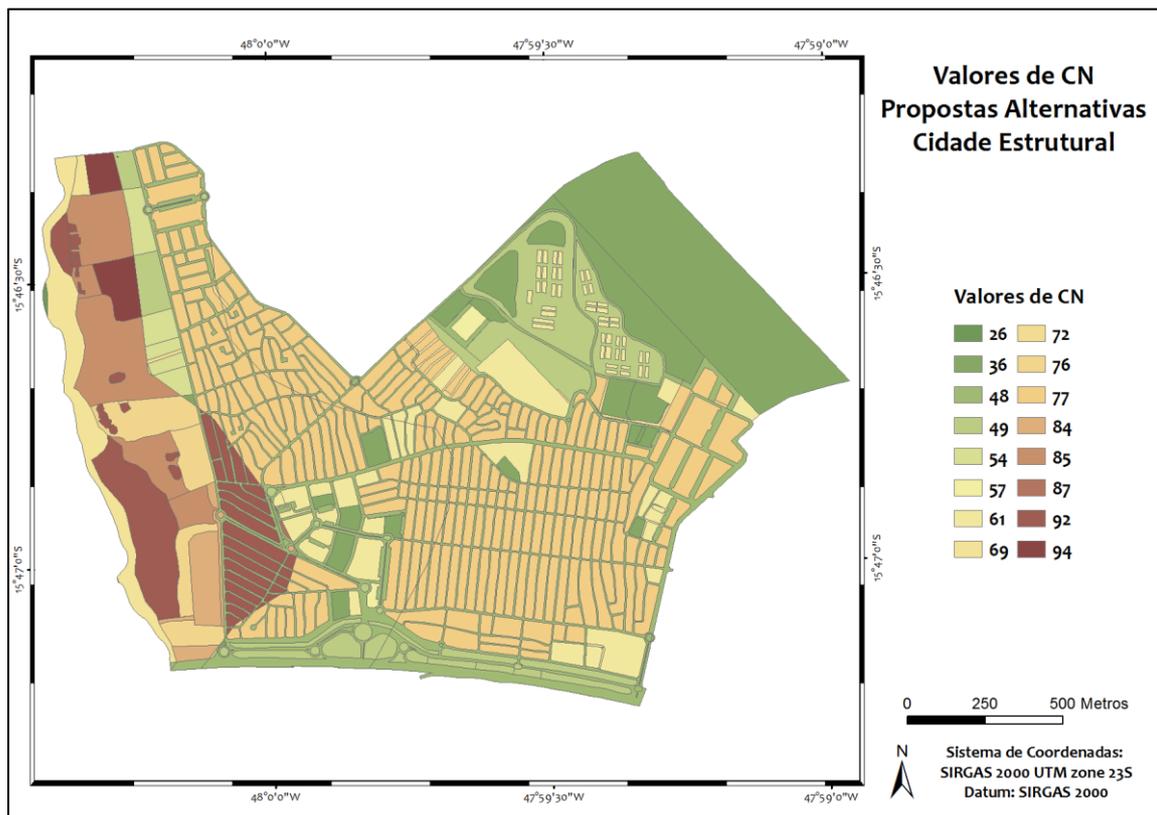


Figura 5.14 - Valores de CN para o cenário “e”.

## 5.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS

### 5.4.1. Simulação 1: chuva de projeto da Novacap

Para a primeira simulação foi necessário determinar o tempo de concentração a partir da (3.9), que resultou em:

$$t_c = 135 \cdot (35)^{-0,7164} \cdot (1,55)^{0,5552} \cdot (0,0084)^{-0,2070} = 36,26 \text{ minutos} \quad (5.1)$$

A partir da equação (4.1), foi obtida a precipitação para modelagem no PCSWMM, para o tempo de retorno de 10 anos, como detalhado:

$$i = \frac{21,7 \cdot 10^{0,16}}{(36,26 + 11)^{0,815}} = 1,35 \text{ mm/min} \quad (5.2)$$

A partir desse valor foi calculado o valor de precipitação em cada minuto para o tempo total de 37 minutos, e modelado no PCSWMM de modo que fosse a precipitação incidente sobre toda a área de estudo (Figura 5.15).

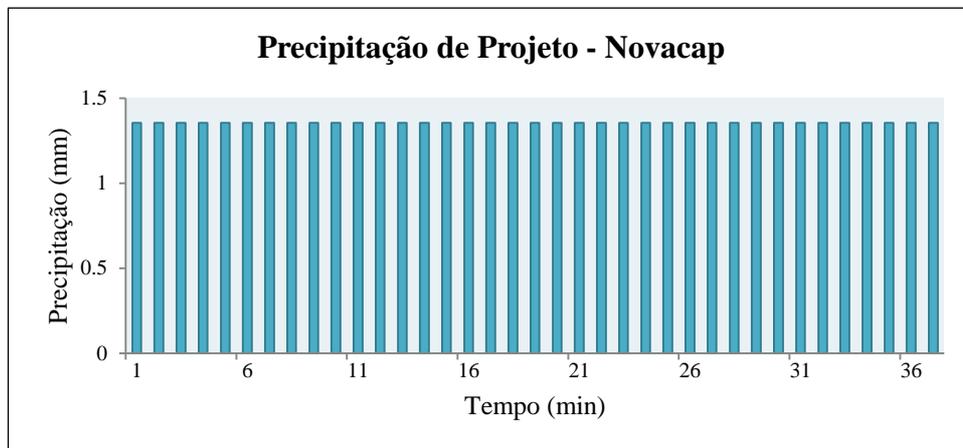


Figura 5.15 – Precipitação de projeto segundo a metodologia proposta pela Novacap.

Esse procedimento foi realizado para todos os cenários descritos e o resultado comparativo pode ser observado da Figura 5.16 a Figura 5.18.

A Figura 5.16 mostra o comportamento dos hidrogramas de saída do ponto OF1, correspondente à bacia 1. Um aspecto importante nessa simulação é que a intensidade da chuva de projeto, obtida pelo método racional, é considerada constante durante todo o tempo de concentração, o que leva a uma vazão final significativa. Percebe-se também que foi necessário registrar os resultados em até 36 horas após o evento, a fim de observar a total passagem da vazão pela saída da bacia.

Como resultado, observa-se que a vazão de pico no cenário “b” (com urbanização e sem rede de drenagem) é consideravelmente superior aos demais cenários, ainda que seus valores absolutos sejam muito baixos. Os gráficos referentes aos cenários “c” (com rede de

drenagem existente) e “d” (com rede de drenagem proposta) também apresentaram uma maior vazão de pico, porém com o pico de vazão mais tardio e melhor distribuído. Os cenários “a” (pré-urbanização) e “e” (medidas alternativas) tiveram o pico de vazão inferior aos demais.

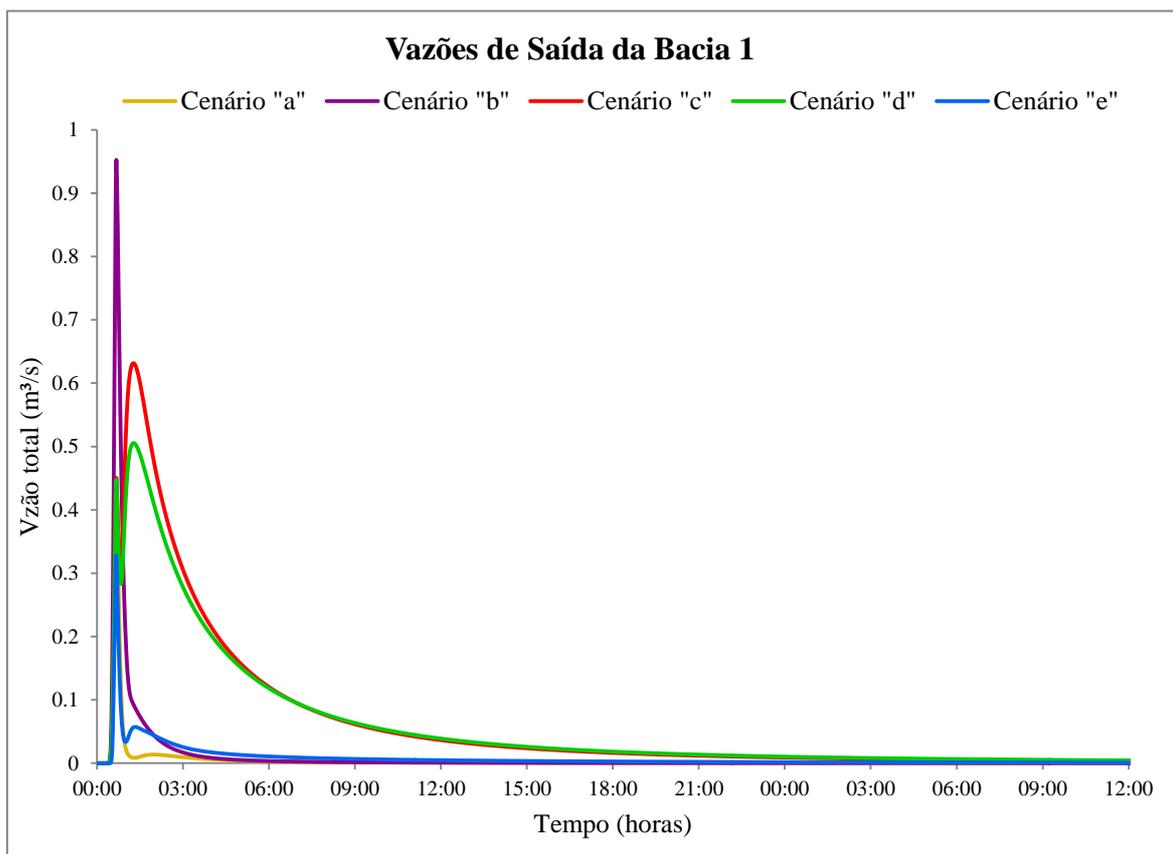


Figura 5.16 – Hidrogramas de saída da bacia 1 (OF1) para a simulação com precipitação de projeto da Novacap.

As prováveis causas desse comportamento podem estar relacionadas à maior permeabilidade presente nos cenários “a” e “e”. Os cenários “c” e “d”, por outro lado, promoveram a canalização do volume precipitado, de modo que este foi identificado na saída da bacia. E o cenário “b”, sem rede de drenagem e sem reservatório de amortecimento, revelou o maior pico e com maior antecedência.

A Figura 5.17 apresenta os resultados do ponto OF2, relacionados à bacia 2C. A partir da imagem, pode-se perceber que o pico de vazão do cenário “b” ocorre primeiro, mas com uma vazão de pico inferior às demais. Esse comportamento pode estar relacionado à ausência de rede de drenagem, de modo que nem toda a vazão precipitada tenha conseguido alcançar a saída dessa bacia onde o registro foi realizado, devido aos obstáculos presentes nas sub-bacias, como as residências.

Os cenários “c” e “d” por sua vez, mostram também um comportamento semelhante, mas com maior pico de vazão, em relação ao cenário “b”, provavelmente resultante do favorecimento do transporte de vazão até a saída da bacia pela canalização. Os demais cenários, “a” e “e”, apresentaram vazão praticamente igual a zero durante todo o período da simulação, possivelmente devido à elevada infiltração do volume precipitado.

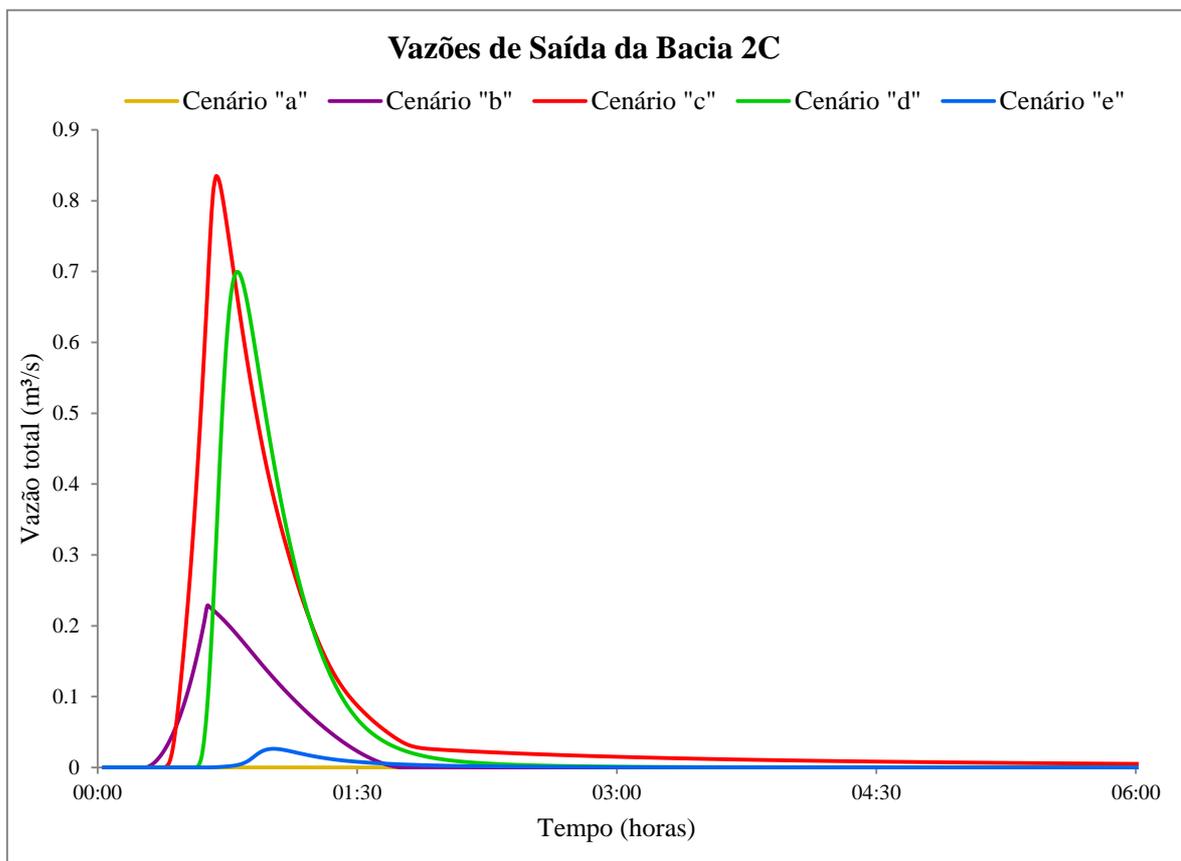


Figura 5.17 - Hidrogramas de saída da bacia 2C (OF2) para a simulação com precipitação de projeto da Novacap.

Por fim, a Figura 5.18 mostra o hidrograma de saída das bacias 2A e 2B, em que os cenários “a”, “d” e “e” apresentaram vazão igual à zero. Os cenários “b” e “c”, por outro lado, estão sobrepostos e apresentaram uma pequena vazão logo ao fim do tempo de precipitação. Esse comportamento pode estar relacionado ao pequeno volume de precipitação simulado, que alcançou a saída da bacia nesses cenários, mas que pode ter sofrido infiltração nos demais, devido à elevada permeabilidade do solo.

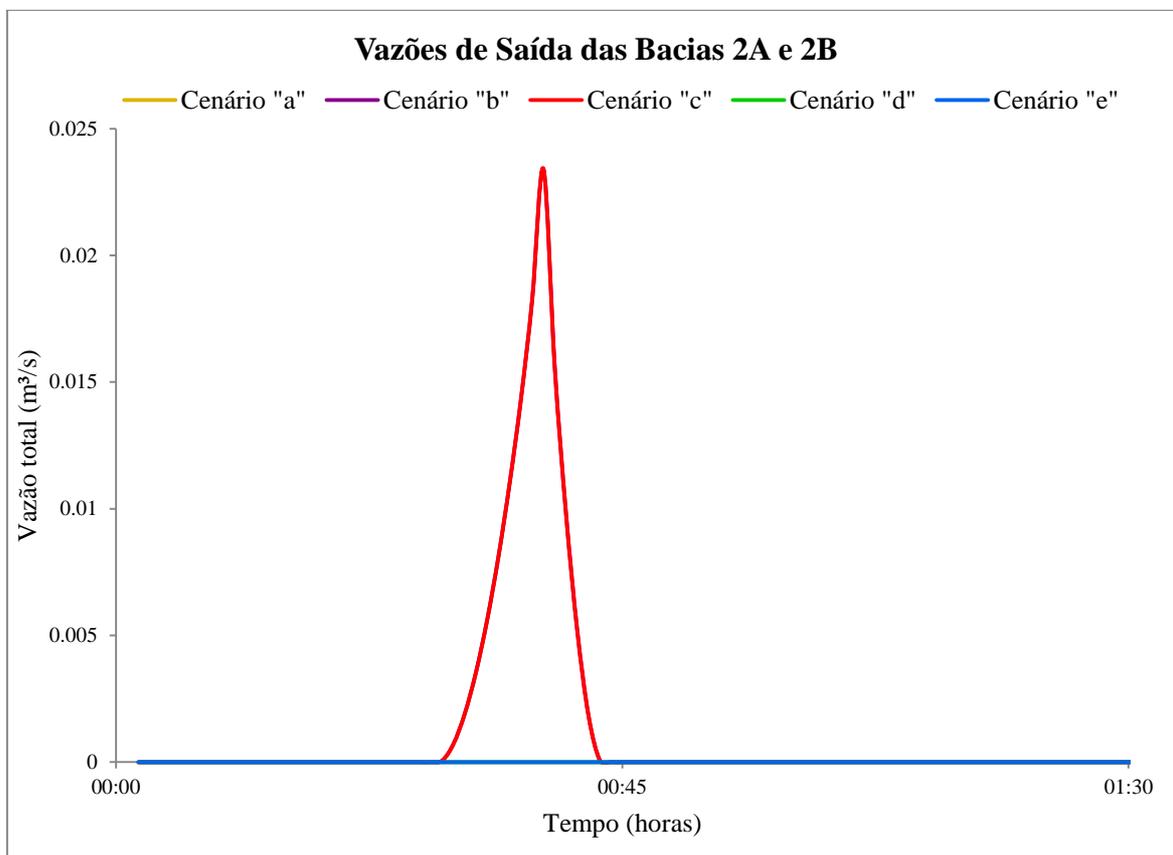


Figura 5.18 – Hidrogramas de saída das bacias 2A e 2B (OF3) para a simulação com precipitação de projeto da Novacap.

#### 5.4.2. Simulação 2: chuva de projeto do PDDU

A segunda simulação realizada se baseou na precipitação de projeto como descrita pelo PDDU, por meio da metodologia de blocos alternados. A precipitação obtida, para um tempo de retorno de 10 anos e duração total de 24 horas, pode ser observada na Figura 5.19.

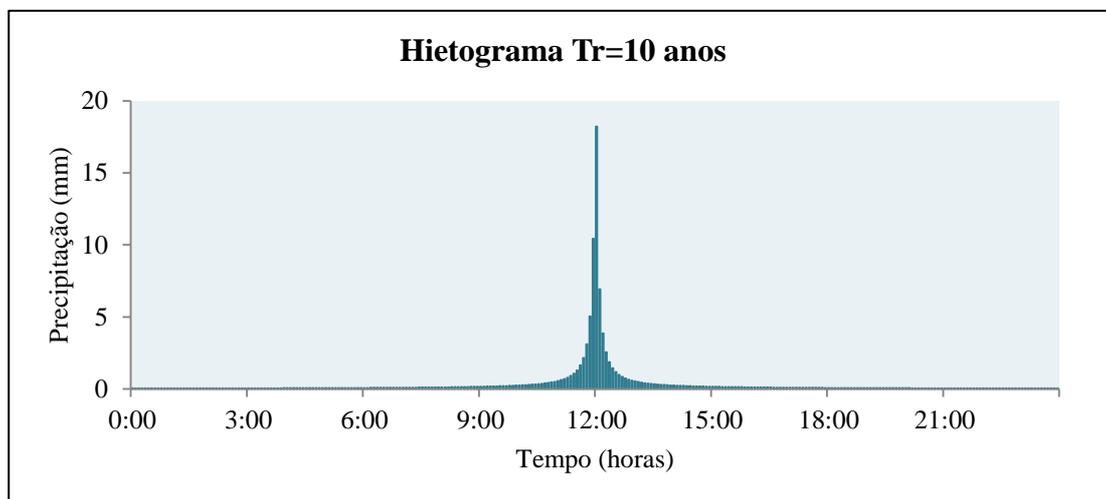


Figura 5.19 – Hietograma com chuva de projeto para tempo de retorno de 10 anos.

Esse evento foi utilizado no PCSWMM para todos os cenários descritos e os resultados obtidos podem ser observados a partir da Figura 5.20, onde é possível notar a significativa diferença de vazão entre os diferentes cenários. Note que o registro dos resultados apresenta 48 horas de duração, ou seja, um dia a mais do que a duração total da precipitação, de 24 horas. Isso foi necessário para uma melhor visualização dos dados ao longo do tempo.

Em relação à bacia 1 (Figura 5.20), observa-se que os cenários “b”, “c” e “d” apresentaram um escoamento superficial significativamente superior em relação aos demais cenários. Isso permite concluir que esse aumento foi causado majoritariamente pela urbanização e consequente impermeabilização do solo. Percebe-se que esse aumento de escoamento é amenizado pela existência da rede de drenagem nos cenários “c” e “d”, mas ainda assim esse volume é muito maior que o presente em condições naturais.

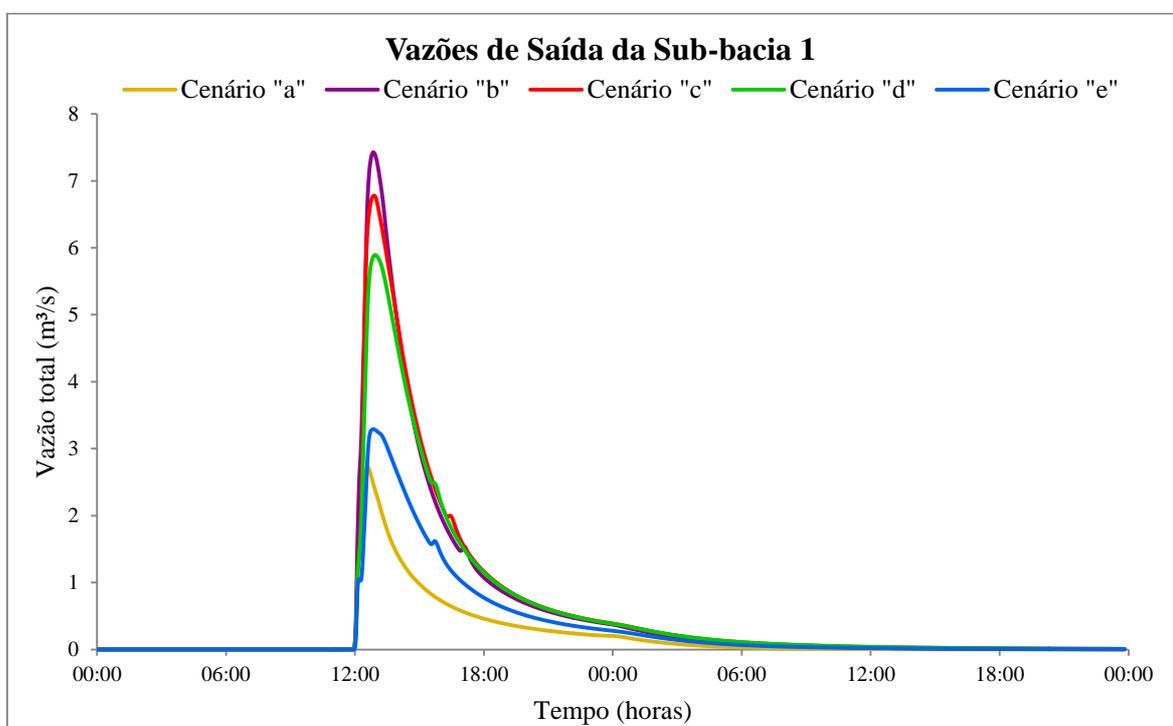


Figura 5.20 – Hidrogramas de saída da bacia 1 (OF1) para a simulação com precipitação de projeto do PDDU.

Observa-se ainda que os cenários “c” e “d” apresentaram uma sobrecarga em alguns componentes do sistema de drenagem para esse evento simulado. Isso pode ser evidenciado pelas Figuras 5.21 e 5.22, que mostram o resultado da modelagem e os componentes sobrecarregados, nos cenários “c” e “d”, respectivamente:

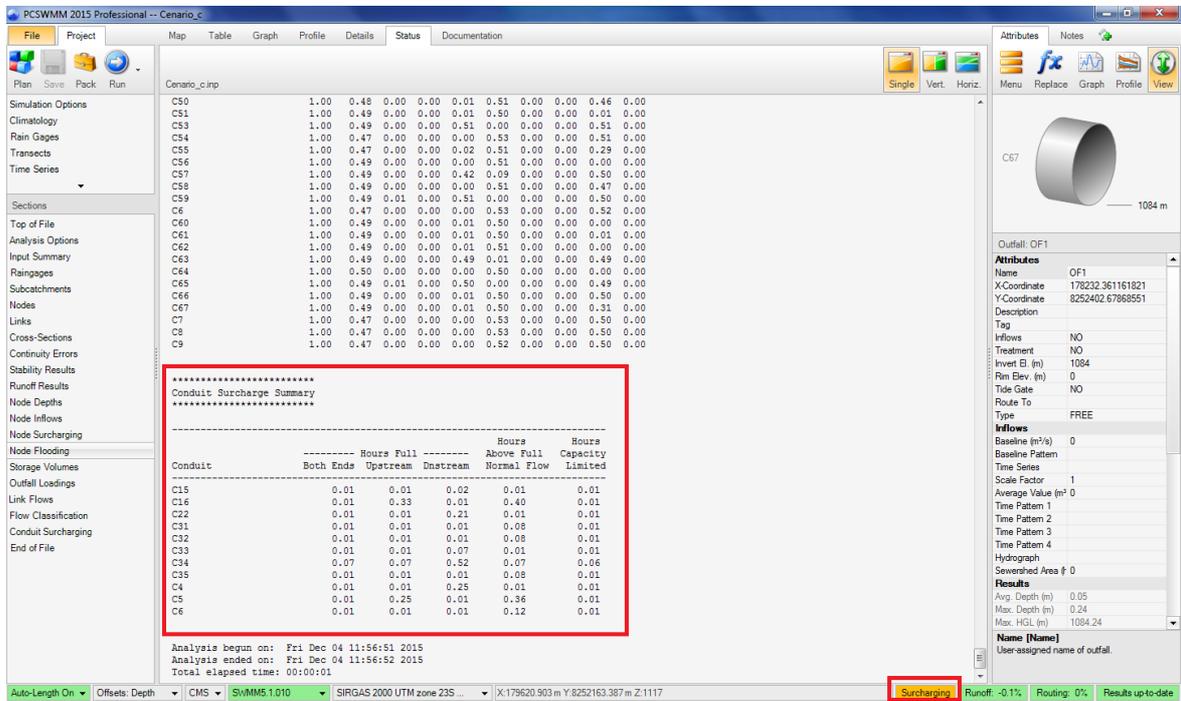


Figura 5.21 – Identificação dos componentes do sistema de drenagem que sofreram sobrecarga, para o cenário “c”.

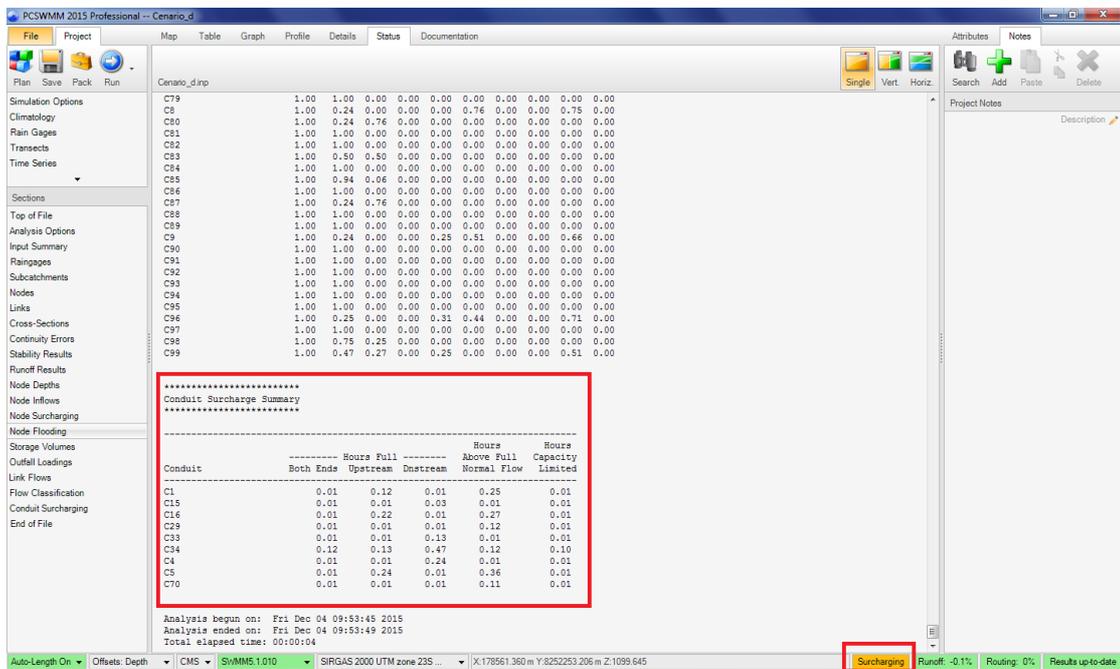


Figura 5.22 - Identificação dos componentes do sistema de drenagem que sofreram sobrecarga, para o cenário “c”.

A partir dessa informação obtida do programa, foi possível identificar no mapa cada um dos condutos sobrecarregados para os cenários “c” e “d”, como apresentado na Figura 5.23 e Figura 5.24, respectivamente.

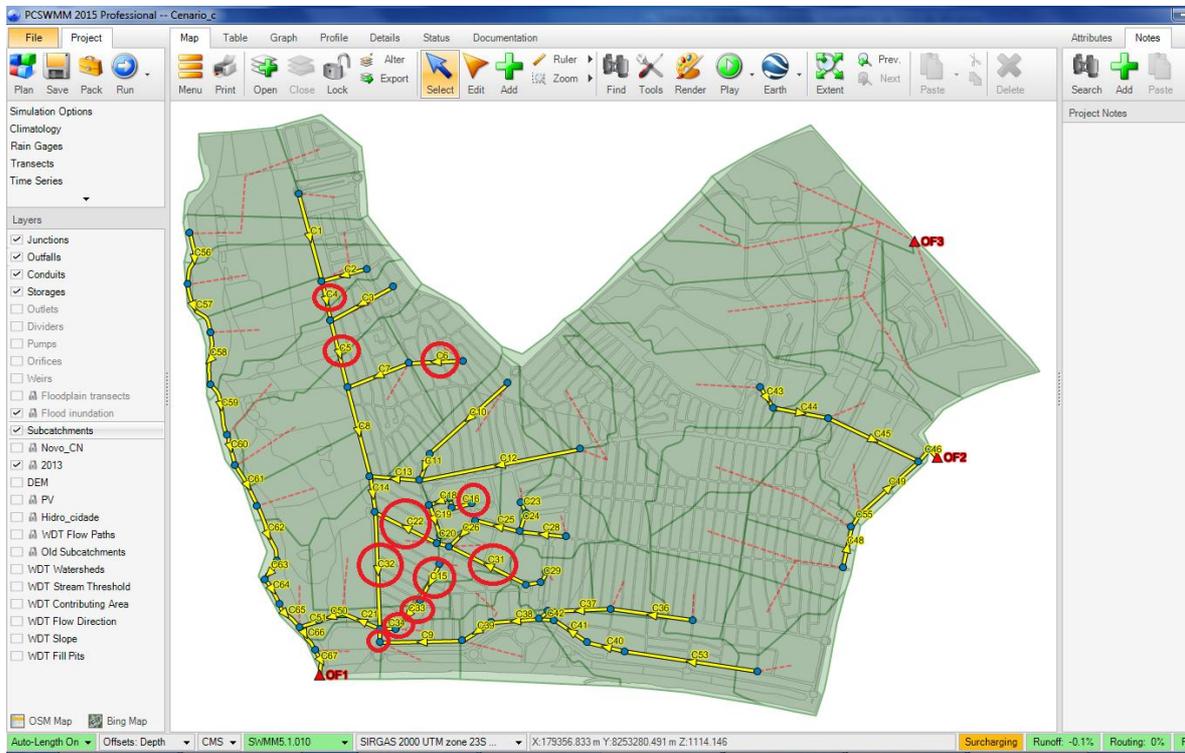


Figura 5.23 – Componentes do sistema de drenagem que apresentaram sobrecarga para o cenário “c”.

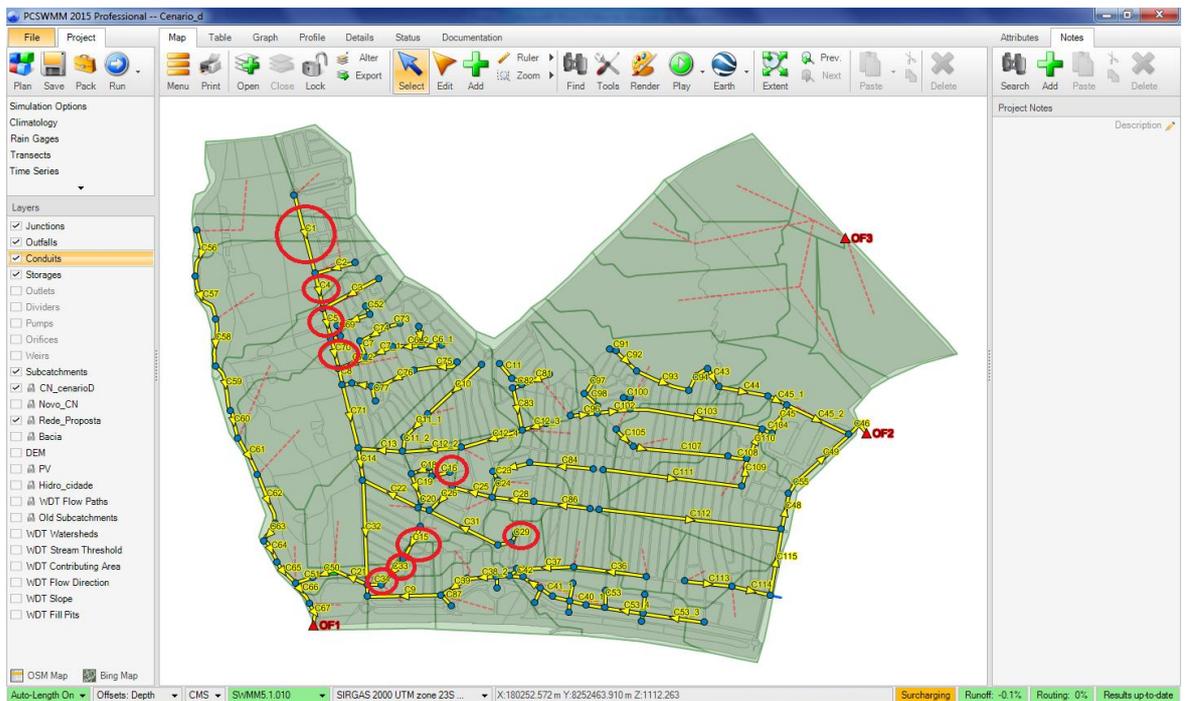


Figura 5.24 – Componentes do sistema de drenagem que apresentaram sobrecarga para o cenário “d”.

Foi possível ainda utilizar mais um dos recursos do programa para visualizar, em animação, o comportamento desses condutos durante os picos de vazão. O momento do pico pode ser observado na Figura 5.25 e Figura 5.26, em que os tamanhos e cores dos

condutos e junções estão relacionados à sua vazão e capacidade, que melhor representavam a sobrecarga. A Figura 5.27 mostra o perfil de um dos condutos com sobrecarga, no cenário “d”.

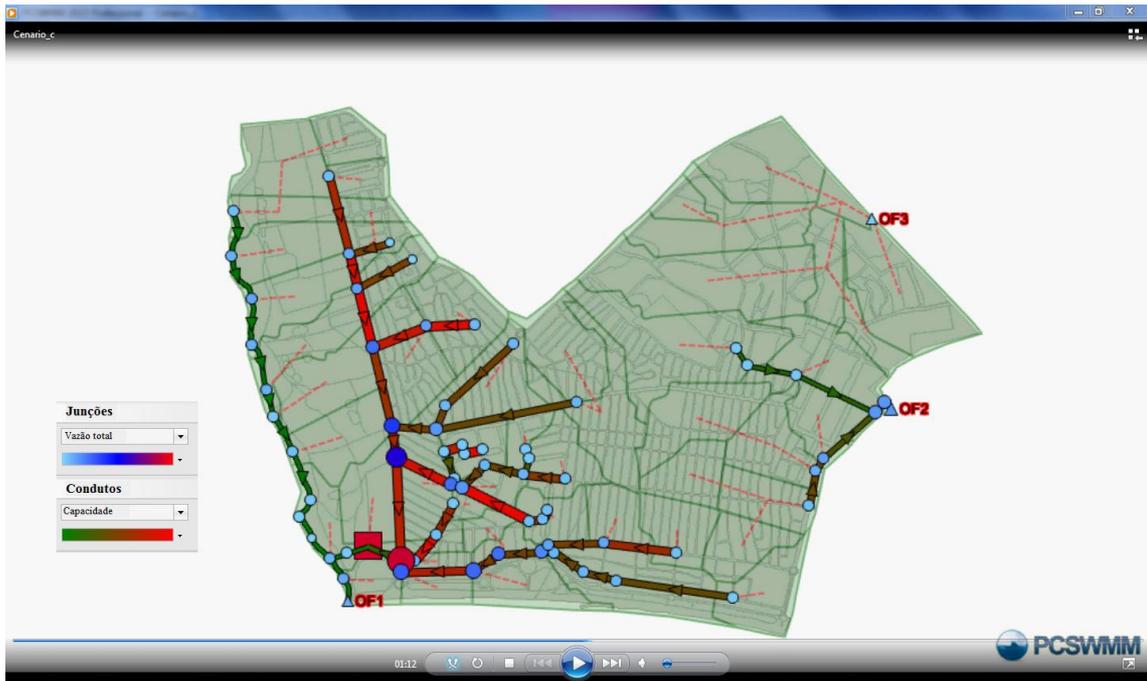


Figura 5.25 - Animação do PCSWMM com destaque para os condutos sobrecarregados (cenário “c”).



Figura 5.26 – Animação do PCSWMM com destaque para os condutos sobrecarregados (cenário “d”).

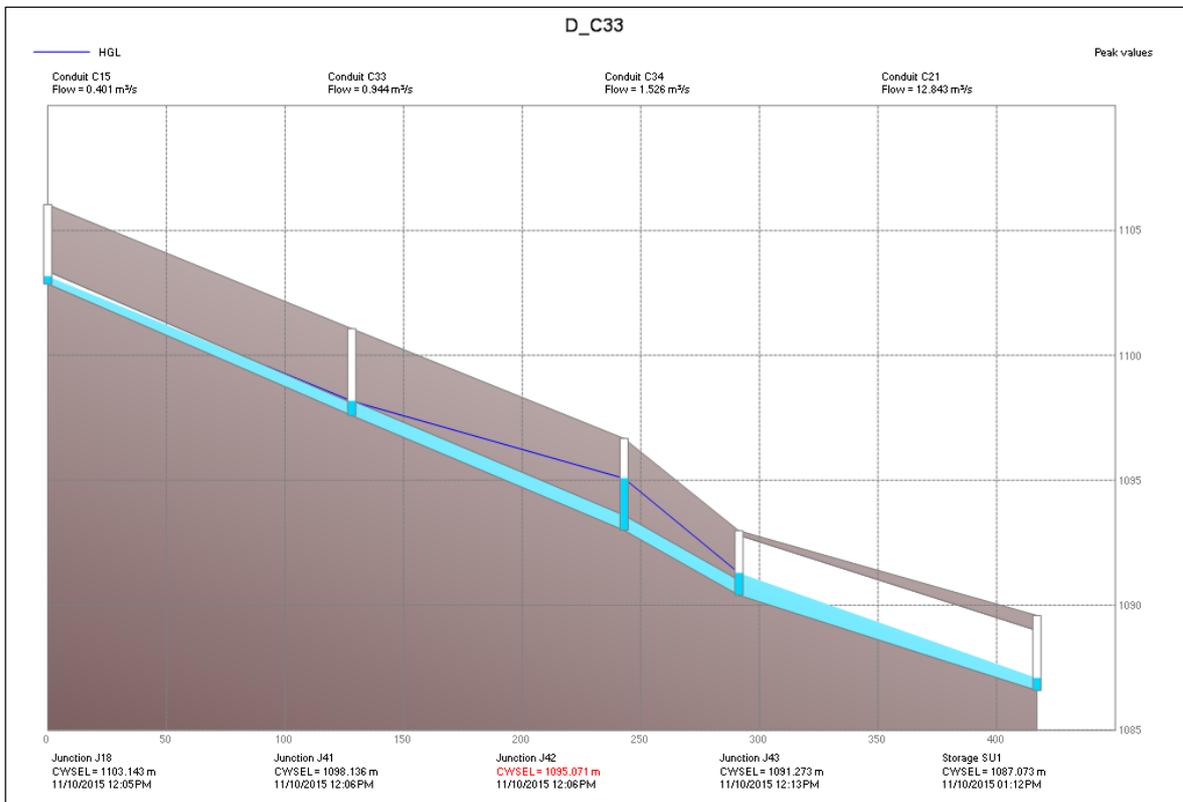


Figura 5.27 – Conduto 33 no cenário “d” com sobrecarga.

A partir desse comportamento, é razoável admitir que o dimensionamento proposto pelo projeto da Novacap não atende da forma apropriada aos volumes de escoamento superficiais que são gerados na bacia, principalmente devido à elevada urbanização e impermeabilização do solo.

Ainda em relação aos hidrogramas apresentados na Figura 5.20, percebe-se que o pico de vazão dessa bacia está mais distribuído nos cenários urbanizados do que no cenário “a”, que ocorre antecipadamente. Isso pode estar relacionado ao tipo de solo predominante na bacia 1, que é em sua maioria pertencente ao grupo hidrológico D, ou seja, de menor capacidade de infiltração. Dessa forma, a canalização do sistema de drenagem distribuiu essa vazão por um maior período de tempo em relação ao que acontecia no cenário pré-urbanizado. De todo modo, o volume dos cenários urbanizados continua sendo superior ao do cenário de pré-urbanização.

Um último aspecto a observar é que o cenário “e”, com as propostas alternativas, foi o que mais conseguiu se aproximar do hidrograma do cenário “a”, de cobertura natural. Isso reflete a eficiência dos métodos de controle na fonte e aumento da infiltração das águas pluviais no solo.

A análise da bacia 2C (Figura 5.28), por sua vez, mostra uma diferença significativa entre o cenário “a” e os demais cenários. Da mesma forma que na bacia 1, esse

comportamento pode estar relacionado ao tipo de solo predominante na área das bacias 2A, 2B e 2C, que é pertencente ao grupo hidrológico A e, portanto, possui elevada capacidade de infiltração. Dessa forma, a maior parte do volume precipitado no cenário pré-urbanização foi infiltrada e deixou de contribuir para o escoamento superficial.

Os demais cenários apresentaram uma vazão muito mais significativa, evidenciando a situação de intensa urbanização dessa bacia. Os cenários “b”, “c” e “d” refletem um volume maior de escoamento superficial, sendo que os cenários “c” e “d” possuem um pico antecipado devido ao aceleração do escoamento pela canalização, enquanto o cenário “b” possui um pico mais distribuído, em que não há rede de drenagem. Além disso, mais uma vez, o cenário de propostas alternativas foi o que se mostrou mais próximo do cenário de pré-urbanização.

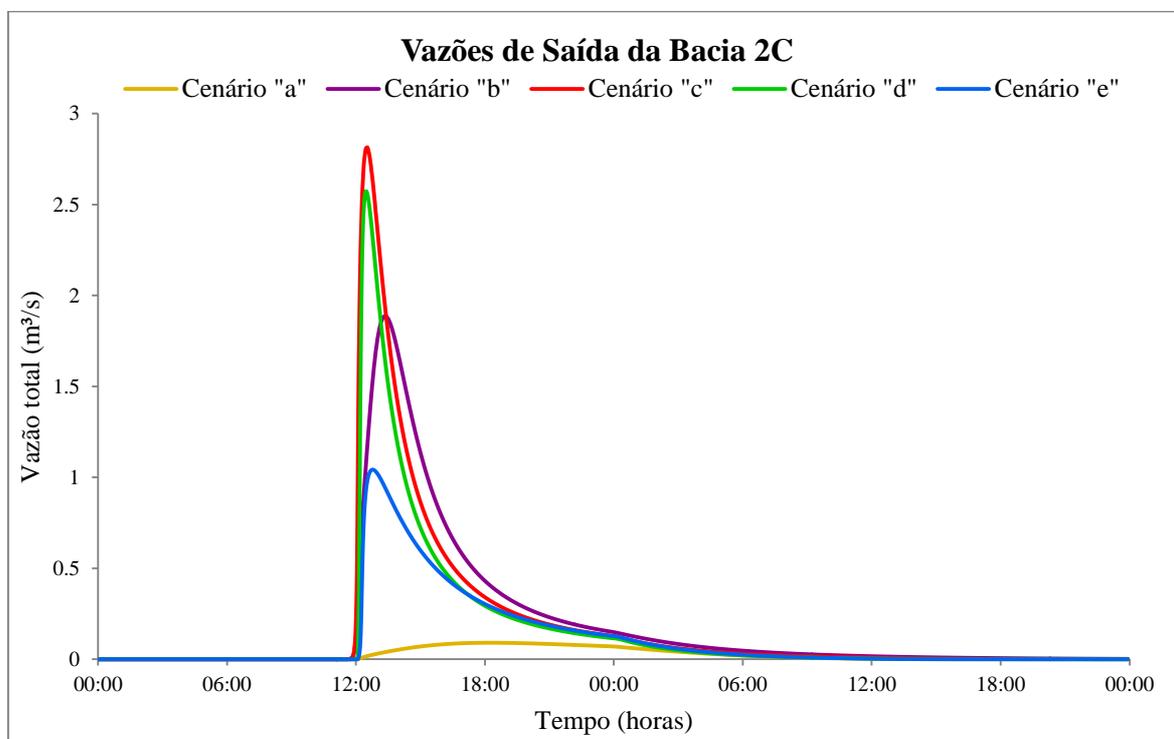


Figura 5.28 – Hidrogramas de saída da bacia 2 (OF2) para a simulação com precipitação de projeto do PDDU.

Por fim, o resultado da saída das bacias 2A e 2B pode ser visto na Figura 5.29. Na figura, os gráficos dos cenários “b” e “c” estão sobrepostos. Isso ocorreu porque em ambos essa área apresenta a ocupação da área de proteção do PNB e sem um sistema de drenagem, refletindo também no maior volume de escoamento em relação aos demais cenários. O cenário “d”, por sua vez, propõe a completa recuperação das bacias 2A e 2B, o que aproximaria o uso do solo dessa área às condições naturais, como pode ser observado pela adjacência dos hidrogramas.

O cenário “e” por outro lado, prevê alguma ocupação dessas bacias, mas considerando um apropriado manejo das águas pluviais, de modo que o volume de escoamento superficial anterior é amortecido, mesmo com a presença das ocupações urbanas de baixa renda, como proposto.

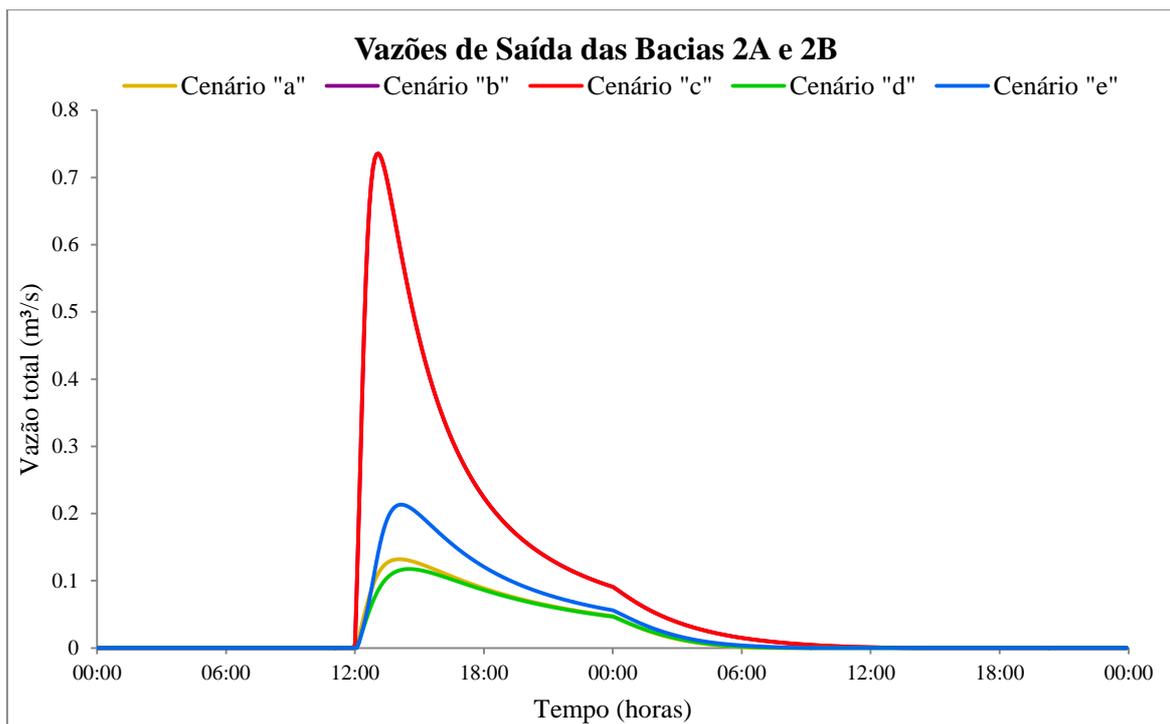


Figura 5.29 – Hidrogramas de saída das bacias 2A e 2B (OF3) para a simulação com precipitação de projeto do PDDU.

## 5.5. BACIAS DE RETENÇÃO E DETENÇÃO

### 5.5.1. Adequação do dimensionamento

A partir das equações de dimensionamento de reservatórios do PDDU, foi possível analisar se o dimensionamento das bacias de retenção e detenção da Cidade Estrutural era adequado à região.

A partir do tempo de concentração obtido, foi determinado o intervalo  $\Delta t$  a ser utilizado na modelagem, que seria inferior ou igual à quinta parte do tempo de concentração. Esse intervalo seria de 7,25 minutos, mas foi utilizado o  $\Delta t$  de 5 minutos, como indicado no PDDU, assim como o tempo de duração total do evento sugerido de no mínimo 24 horas.

Para o dimensionamento do reservatório, foi determinado o coeficiente de escoamento, que forneceu:

$$S = \frac{25400}{78,09} - 254 = 71,26 \quad (5.3)$$

$$Cp = \left[ \frac{(21,14 - 0,2.71,26)^2}{21,14 + 0,8.71,26} \right] \cdot \frac{1}{21,14} = 0,028 \quad (5.4)$$

$$C = 0,028 + (0,95 - 0,028) \cdot 0,78 = 0,74 \quad (5.5)$$

É possível observar que o valor do coeficiente de escoamento encontrado é próximo ao utilizado pela Novacap, que foi de 0,70. Os demais parâmetros a serem utilizados no dimensionamento do volume do reservatório foram determinados como detalhado a seguir:

$$w = \frac{24,4}{(2,78) \cdot (2536,28) \cdot (0,74)(1 - 0,884)} = 0,0403 \quad (5.6)$$

$$s = \frac{11}{1 - 0,884} = 94,83 \quad (5.7)$$

$$r = \frac{1}{0,884 + 1} = 0,53 \quad (5.8)$$

$$t = \left( \frac{t + 94,83}{0,0403} \right)^{0,53} - 11 = (\dots)^{17} = 71,46 \text{ minutos} \quad (5.9)$$

Por fim, o volume do reservatório de detenção, foi determinado pela aplicação da equação:

$$V = 0,06 \cdot \left( \frac{2.78 \cdot 0,74 \cdot 2536,28}{(71,46 + 11)^{0,884}} - 24,4 \right) \cdot 71,26 = 347,99 m^3 / ha \quad (5.10)$$

Dado que a área para a qual o reservatório foi projetado foi a bacia 1, a área a ser amortecida é de 105 hectares. Portanto, o volume do reservatório de detenção deve ser:

$$V = (347,99) \cdot (105) = 36539,73 m^3 \quad (5.11)$$

que corresponde, aproximadamente, ao volume do reservatório proposto pela Novacap, que é de 33987,025 m<sup>3</sup>, segundo os dados presentes no projeto.

O reservatório de qualidade, por sua vez, foi determinado pela (3.2), como detalhado:

$$V_{qa} = 33,8 + 180 \cdot (0,78) = 174,2 m^3 / ha \quad (5.12)$$

$$V_{qa} = 174,2 \cdot (105) = 18291 m^3 \quad (5.13)$$

Esse resultado se aproxima do valor proposto pela Novacap, que segundo os dados do projeto é de 22520,075 m<sup>3</sup>.

Percebe-se, portanto, que as bacias dimensionadas pelo projeto da Novacap e existentes na região foram satisfatoriamente dimensionadas e atendem às demandas mínimas exigidas no Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF. O que se percebe, no

---

<sup>17</sup> Processo iterativo

entanto, é que sua instalação não está satisfatoriamente implementada, tendo em vista que o volume de água a ser amortecido chega de forma inapropriada à bacia, como mostrado anteriormente.

### **5.5.2. Comportamento hidráulico**

A simulação do sistema de drenagem no software PCSWMM permitiu também que os reservatórios fossem modelados no programa. A fim de simplificar a modelagem, ambos os reservatórios foram considerados como apenas um, considerando o somatório do volume de ambos. Foram colocadas duas junções artificiais, logo antes e logo após as bacias, de modo a comparar o comportamento da vazão nesses pontos e observar a eficiência dos reservatórios no que se refere ao amortecimento de vazões.

Para todos os cenários analisados, o comportamento da bacia foi semelhante. A Figura 5.30 mostra as vazões na entrada e na saída da bacia para o cenário “c”, que representa a atual configuração do sistema de drenagem, para o evento de 10 anos de retorno.

Mais ainda, é possível observar na Figura 5.30 a diferença entre os hidrogramas de entrada e saída das bacias nos diferentes cenários e a significativa redução de volume que ocorre dos cenários “c” e “d” para o cenário “e”, que inclui as soluções alternativas de drenagem. Dessa forma, é possível inferir que o adequado manejo de águas pluviais ao longo de toda a bacia permitiria um dimensionamento menor dos reservatórios de retenção e detenção, o que reduziria custos e o espaço necessário para o amortecimento das vazões.

De modo geral, a partir dos resultados apresentados, é possível perceber a eficiência dos reservatórios em retardar o tempo de pico da vazão máxima, assim como na distribuição desse volume durante um maior período de tempo. Essa medida, portanto, mostra-se como uma excelente alternativa para amortecimento de inundações, além de garantir que o corpo receptor não será sobrecarregado.

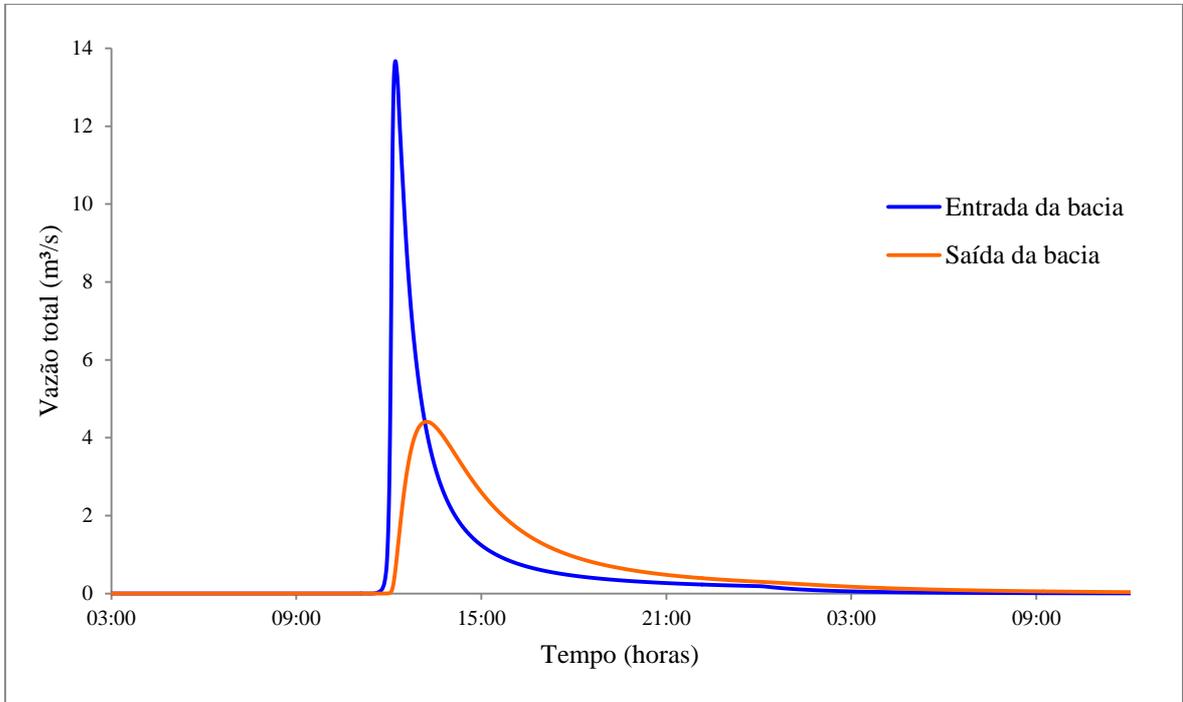


Figura 5.30 – Hidrogramas de entrada e saída de vazão da bacia de detenção para o cenário “c”.

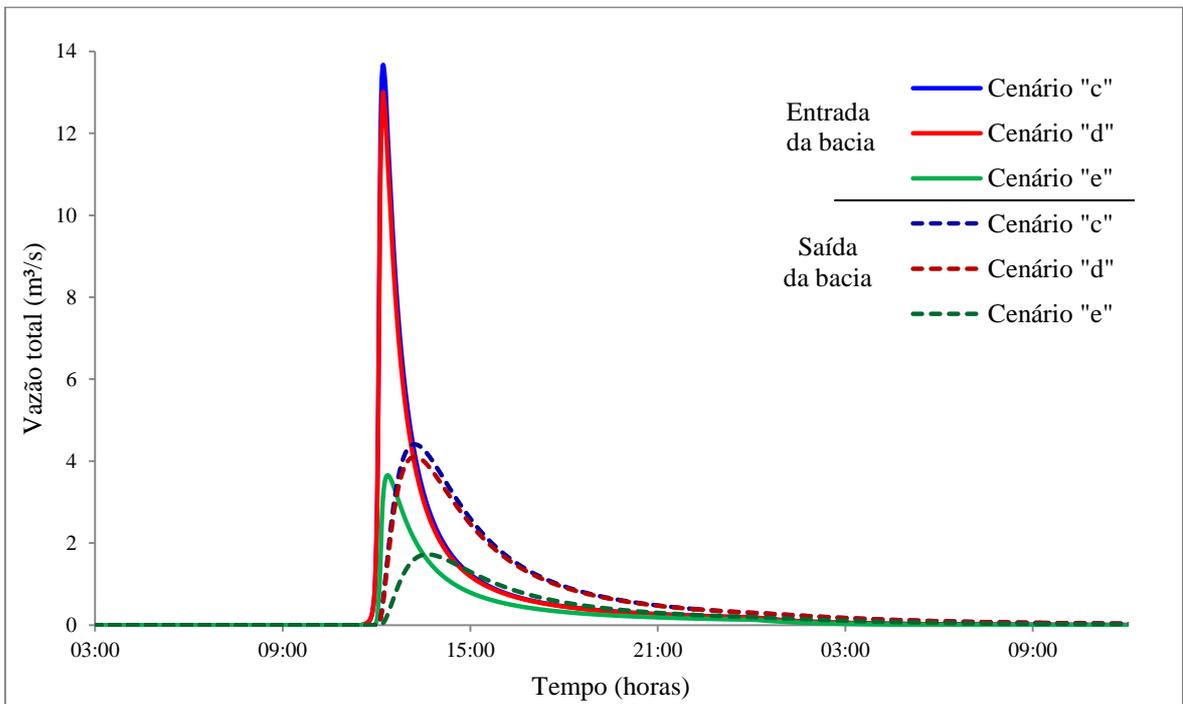


Figura 5.31 – Hidrogramas de entrada e saída do reservatório de detenção para os cenários “c”, “d” e “e”.

## 6. CONCLUSÕES

A avaliação dos impactos quantitativos da urbanização na região da Cidade Estrutural pôde ser gerada a partir da obtenção dos dados da região relacionados ao parâmetro CN, vinculados principalmente com a impermeabilização do solo. Esse parâmetro foi fundamental para a diferenciação dos cenários e permitiu que fosse realizada a comparação. No entanto, como não foi possível realizar uma pesquisa mais profunda da região, os valores de CN determinados podem não condizer com a realidade. Dessa forma, espera-se que em trabalhos futuros esse valor possa ser fixado com mais critério e que a simulação realizada seja ainda mais fiel ao comportamento hidráulico do sistema.

O programa PCSWMM se revelou uma ferramenta extremamente versátil e facilitadora na utilização pelo usuário em todas as etapas da modelagem. A partir desse software, foi possível observar os impactos quantitativos que a urbanização gera em um ambiente natural, assim como a significativa diferença entre os métodos clássicos e alternativos de manejo de águas pluviais.

A aplicação de diferentes métodos de chuva de projeto, segundo a Novacap e segundo o PDDU, forneceu resultados de picos de vazão diferentes. No entanto, os resultados comparativos entre os cenários foram semelhantes, ratificando a influência da impermeabilização do solo na vazão de pico de cada um dos eventos.

Ficou evidenciado que as soluções de drenagem atualmente propostas pela Novacap se baseiam em conceitos antigos de afastamento da presença da água das cidades e acelerado transporte do escoamento superficial para jusante. Mais ainda, são medidas que apresentam falhas em diversos pontos e muitas vezes não se adequam aos problemas enfrentados pela Cidade.

Foi possível também observar que o reservatório de detenção existente pode ser eficiente no amortecimento de cheias. Com isso, percebe-se que essa é uma solução viável para áreas semelhantes e que contribui de maneira expressiva para atender às demandas de preservação dos corpos d'água. No entanto, foi observado que essa solução não deve ser aplicada de forma isolada, mas deve estar integrada ao restante do sistema de drenagem. Do contrário, ela pode ser dimensionada de forma inapropriada e acarretar em custos desnecessários, ou ainda, não funcionar da maneira planejada, como foi mostrado neste estudo. Além disso, deve-se lembrar que a instalação de bacias de detenção junto aos cursos de água pode ser indesejável tanto do ponto de vista ambiental (Áreas de Proteção Permanente) quanto do ponto de vista paisagístico.

As avaliações qualitativas não puderam ser incluídas no escopo deste estudo, mas espera-se que isso possa ser feito no futuro, dadas as condições de salubridade causadas pela presença do Lixão nas imediações de importantes corpos d'água do DF.

Espera-se, portanto, que tenha sido mostrada a importância da aplicação de soluções pontuais para a redução do escoamento superficial e seus benefícios tanto do ponto de vista ambiental, com a visão abrangente das bacias hidrográficas, quanto do ponto de vista social, em que toda a população é beneficiada com menores riscos de ocorrência de enchentes e com a garantia da manutenção dos corpos hídricos. Por fim, fica claro que o planejamento integrado é imprescindível para o funcionamento de todos os sistemas que compõem uma área urbana.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA). Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais do DF (2013). Disponível em:

[http://www.adasa.df.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1173:2310:2013-comites-de-bacia-fazem-proposta-de-enquadramento-dos-rios-do-df&catid=50:noticias-da-adasa&Itemid=244](http://www.adasa.df.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1173:2310:2013-comites-de-bacia-fazem-proposta-de-enquadramento-dos-rios-do-df&catid=50:noticias-da-adasa&Itemid=244) Acesso em 06/10/2015.

AGOSTINHO, M.S.P, POLETO, C. **Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Dispositivos**. HOLOS Environment, v.12 n.2, 2012 – P. 121.

American Society of Civil Engineers. **Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems**, ASCE – Manuals and Reports on Engineering Practice No. 77. American Society of Civil Engineers and the Water Environment Federation. New York, NY. 1992.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 29 de setembro de 2015.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, Porto Alegre. ABRH, 2005. 266 p.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

BUCHARLES, L.G.E.; DA SILVA, S.M.C.P. **Avaliação do Volume de Água Pluvial Drenado em Um Empreendimento Habitacional: Estudo de Caso em Londrina-PR**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 45-57, abr./jun. 2007.

CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S.; SILVA JR., J. A. **Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 98-111, 2007. (doi:10.4136/ambi- agua.35)

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. Oficina de Textos. São Paulo, 2005. 301 p.

CARNEIRO, G. A. (2002). **Estudo de Contaminação do Lençol Freático sob a Área do Aterro de Lixo do Jockey Club-DF e suas Adjacências**. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM – 058/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

CAVALCANTI, M.M., BORGES, W.L., STOLLBERG, R., ROCHA, M.P., CUNHA, L.S., SEIMETZ, E.X., NOGUEIRA, P.V., OLIVERA E SOUSA, F.R.F.R. (2014). **Levantamento Geofísico (Eletrorresistividade) nos Limites do Aterro Controlado do Jokey Clube, Vila Estrutural, Brasília – DF**. Revista Geociências - UNESP, 2014, Vol. 2, São Paulo, p. 298-313.

COBRAPE. **Elaboração do PDLI, PSI e PTS para a Vila Estrutural, situada na Região Administrativa do Setor Complementar de Indústria e Abastecimento – SCIA, RA XXV, no DF**. Brasília, COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos, 2007.

CODEPLAN. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – SCIA-ESTRUTURAL – PDAD 2013/2014**. Brasília, Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2014.

CONCREMAT. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal: Caracterização da Rede de Macrodrenagem; do Problema da Erosão Urbana e do Risco Geológico e do Problema de Carreamento de Lixo para os Cursos D'água**. V.4, T.01/03. Brasília, Concremat Engenharia, 2008.

COSTA, M.E.L (2013). **Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-148/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179p.

DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar no 803, de 25 de Abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT e dá outras providências. Brasília, 2009.

DURRANS, S.R. **Stormwater Conveyance Modeling and Design**. Exton, Pennsylvania USA. Bentley Institute Press, 2007. 688 p.

The Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. United States Department of Agriculture, 1998.

FERRIGO, S. (2014). **Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação

PTARH.DM-159/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164 p.

GAVA, T., FINOTTI, A.R. **Resíduos Sólidos Urbanos na Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio, Florianópolis/Sc.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, RS, 2013.

GONÇALVES, Gelsy Wani Pedrini Soares. **Urbanização e Qualidade da Água: monitoramento em lagos urbanos de Londrina-PR.** 2008. 191f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

GREENTEC. **Planos de Manejo das Áreas de Proteção da Vila Estrutural:** Produto 4 – Plano de Manejo ARIE da Cabeceira do Valo. Brasília – DF. ADASA. Novembro de 2012.

GREENTEC. **Zoneamento Ecológico-Econômico do DF.** Subproduto 3.2 – Relatório de Diagnóstico. Brasília, Greentec Consultoria Ambiental, 2012.

JAMES, W., HUBER, W.C., DICKINSON, R.E., PITT, R.E., JAMES, W.R.C.; ROSENER, L.A.; ALDRICH, J.A. **User's Guide to SWMM 5.** CHI, Guelph, Ontario, Canadá, 2008.

KOIDE, S., BERNARDES, R.S. (1998). **Contaminação do lençol freático sob a área do aterro do Jockey Club, Distrito Federal.** X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1998, Vol. 1, São Paulo, pp.1-11.

MARQUES, C.E.B. **Proposta de Método para Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana.** 2006. 168 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2006.

MCCUEN, R.H. **Hydrologic Analysis and Design,** 2<sup>a</sup> ed. Upper Saddle River, NJ, 1998.

PORTO, R.L.L. **Alguns Aspectos da Simulação Matemática em Hidrologia:** exemplos de aplicação. São Paulo, DAEE/DP, 1973. (Boletim Técnico)

PROGEA Engenharia e Estudos Ambientais. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental do Parcelamento Urbano Zona Habitacional de Interesse Social e Público - ZHISP da Vila Estrutural.** Terracap, 2004.

PROGEA. **Plano de encerramento do Aterro Controlado do Jóquei.** Belacap. 2005.

SÃO PAULO. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: Aspectos Tecnológicos; Fundamentos.** São Paulo: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2012. 220 p. v2.

SEDHAB. Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano. Governo do Distrito Federal. Fotografias Aéreas – Articulação SICAD. Disponível em: <[http://www.sedhab.df.gov.br/mapas\\_sicad/index.htm](http://www.sedhab.df.gov.br/mapas_sicad/index.htm)>. Acesso em 16 de novembro de 2015.

SHINMA, T.A. **Calibração Multiobjetivo do SWMM Aplicada à Transformação Chuva-Vazão.** 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (SP), 2011.

STORM WATER MANAGEMENT MODEL – USER’S MANUAL. **EPA SWMM 5.0 Modelo de Gestão de Drenagem Urbana: Manual do Usuário.** Tradução pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, Brasil. PROCEL SANEAR, 2012. 280 p.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Editora da UFRGS. ABRH, 2002.

TUCCI, C.E.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Saneamento para Todos. Vol. 4. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 194p.

VARGAS, M. C. **O Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos.** Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 2, n. 5 1999.

ZAFFANI, A.G. **Poluição Difusa da Drenagem Urbana com Base Ecohidrológica: Diagnóstico Atual e Cenários de Longo Prazo em Bacias Urbanas de São Carlos, SP.** 2012. 174f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.