



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LEONARDO DE MELO FONSECA

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ÁREA DE
CONTRIBUIÇÃO DA AVENIDA DR. AIRTON TELES EM ARACAJU-SE**

SÃO CRISTÓVÃO
2016

LEONARDO DE MELO FONSECA

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ÁREA DE
CONTRIBUIÇÃO DA AVENIDA DR. AIRTON TELES EM ARACAJU-SE**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de Engenharia
Ambiental da Universidade Federal de
Sergipe como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes

SÃO CRISTÓVÃO-SE

2016

LEONARDO DE MELO FONSECA

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ÁREA DE
CONTRIBUIÇÃO DA AVENIDA DR. AIRTON TELES EM ARACAJU-SE**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de Engenharia
Ambiental da Universidade Federal de
Sergipe como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Nota _____

Prof. Dr. Ludimilson Abritta Mendes (UFS)
Orientador

Nota _____

Prof.^a Dr.^a Daniella Rocha (UFS)
(1º Examinador)

Nota _____

Prof. Dr. Daniel Moureira Fontes Lima
(2º Examinador)

RESUMO

A urbanização trouxe uma série de impactos hidrológicos quantitativos e qualitativos em microbacias. Essa condição aumentou a frequência de alagamentos e vem prejudicando a qualidade de corpos receptores através da poluição difusa, principalmente em grandes centros urbanos como Aracaju, cujo solo foi sendo coberto ao longo dos anos por superfícies impermeáveis. O presente estudo teve como principal objetivo analisar as alterações no escoamento superficial na área de contribuição da Avenida Dr. Airton Teles em Aracaju, cuja mancha urbana já se encontra consolidada. Nesse intuito, foram considerados 3 cenários de urbanização distintos cujo uso do solo foi determinado através de relatos históricos, e, classificação de imagens aéreas. Foram propostos ainda o pré-dimensionamento de um volume de retenção através do método de reservação natural e um plano de monitoramento da qualidade de reservatórios. O trabalho foi desenvolvido no *software* ABC 6, com auxílio de SIG, considerando o uso dos modelos do SCS e de Santa Bárbara para cálculo da vazão de projeto. Os resultados indicaram aumento substancial do parâmetro CN e redução dos tempos de concentração em toda a microbacia. Os hidrogramas para o trecho da avenida mostraram ainda razões entre as vazões de pós e pré-urbanização superiores às encontradas na literatura, sendo justificadas principalmente pelo incremento de áreas impermeáveis na microbacia. Foram recomendados o uso de bacias de retenção off-line e subterrâneas, para conter o escoamento superficial em excesso, e, um programa de monitoramento com frequência majoritariamente irregular, incluindo a análise de poluentes típicos do *runoff* urbano e de efluentes sanitários.

Palavras-chave: Microbacia. Uso do solo. Escoamento superficial. Reservatório. Monitoramento.

ABSTRACT

Urbanization has brought a variety of qualitative and quantitative hydrological impacts to watersheds. This condition has increased the frequency of flooding and harmed the quality of water bodies by means of diffuse pollution, mainly in large urban centers as Aracaju, whose soil has been sealed over the years. The present study aimed at assessing the changes in urban runoff on Dr. Airton Teles Avenue waterbasin, whose urban spot is already consolidated. Thus, it was considered three different urbanization scenarios whose land use was determined through historic reports and classification of satellite images and ortophotos. It was also proposed the pre-dimensioning of a detention volume by means of the natural storage method and establishing a monitoring plan of detention ponds. The work was developed in the ABC 6 software with the aid of GIS, considering the use of the SCS and the Santa Barbara models to determine the design flow. The obtained results indicated a substantial increase of the CN parameter and a reduction of waterbasin detention times. The hydrograph of the avenue section displayed higher ratios of post to pre urban flow than literature values, justified mainly by the increase in sealed areas on the waterbasin. It was recommended the use of off-line underground ponds to storage the excess runoff, and, a monitoring plan with an irregular frequency, including the analysis of typical runoff and sanitary effluent pollutants.

Key words: Waterbasin. Land use. Runoff. Reservoir. Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Aracaju em 1855	16
Figura 2 - Hidrogramas de cheias de uma região antes e depois do fenômeno de urbanização.	20
Figura 3 - Mudança no hidrograma com a implantação progressiva de empreendimentos. ...	21
Figura 4 - Relação das vazões de pós-urbanização com as vazões de pré-urbanização em função da área impermeável e da área coberta por sistema de drenagem de águas pluviais	23
Figura 5 - Atenuação de uma onda de cheia propagada num curso d'água.	32
Figura 6 - Armazenamento e sua representação como um reservatório.....	33
Figura 7 - Comparação entre os conceitos de canalização e reservação e seus efeitos no runoff urbano.	35
Figura 8 - Gráfico de precipitação mensal média elaborado a partir da série de dados de 1910 a 2015 do posto pluviométrico 83096 em Aracaju-SE.....	39
Figura 9 - Canal da Avenida Dr. Airton Teles	41
Figura 10 - Região de localização do exutório da microbacia urbana em estudo	41
Figura 11 - Porção Norte da cidade de Aracaju onde está localizada a Avenida Dr. Airton Teles	42
Figura 12 - Delimitação da BCAT considerando o cenário C1 com sobreposição em imagem de satélite recente.....	63
Figura 13 - Delimitação da Área de drenagem da Av. Dr. Airton Teles para o Cenário C2 ..	64
Figura 14 - Delimitação da Área de drenagem da Av. Dr. Airton Teles para o Cenário 3	65
Figura 15 - Mapa mostrando a dinâmica da Bacia de contribuição da Av. Airton Teles (BCAT) entre os períodos dos Cenários C1 e C3	67
Figura 16 - Dinâmica do uso do solo entre os cenários C2 e C3.....	68
Figura 17 - Mapa de uso do solo da BCAT para o Cenário C2 sobre uma imagem aérea de 1970	70

Figura 18 – Mapa de uso do solo da BCAT para o Cenário C3 sobre uma imagem de satélite atual	71
Figura 19 – Tempos de concentração para cada cenário	74
Figura 20 - Evolução do hidrograma de cheia no trecho inicial da Av. Dr. Airton Teles.....	75
Figura 21 - Evolução do hidrograma de cheia num ponto próximo ao exutório da BCAT	76
Figura 22 - Alagamento registrado no canal da Av. Dr. Airton Teles na época chuvosa	77
Figura 23 - Reservatório subterrâneo implantado em praça de Porto Alegre-RS	80
Figura 24 - Quadra poliesportiva localizada sobre o reservatório de detenção.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Registros de enxurradas e alagamentos na cidade de Aracaju entre 1940 e 2015	18
Quadro 2 - Processos de tratamento primários, secundários e adicionais garantidos por BMPs.	37
Quadro 3 - Características do MDE utilizado para extração das curvas altimétricas.	43
Quadro 4 - Descrição dos cenários de urbanização da microbacia	44
Quadro 5 - Período de retorno utilizados para sistemas urbanos.	47
Quadro 6 - Feições e suas considerações no processo de classificação visual da imagem aérea para o cenário C2 e da imagem de satélite para o cenário C3.	48
Quadro 7 - Velocidades médias de escoamento superficial numa bacia hidrográfica.	50
Quadro 8 - Faixas de valores do coeficiente de Manning para escoamento em canais mais comuns no Brasil	51
Quadro 9 - Valores para o coeficiente k segundo o tipo de uso do solo	52
Quadro 10 - Tabela com os grupos de solo e suas características que influenciam na determinação do CN.	55
Quadro 11 - Estimativa dos valores de CN para áreas urbanas (Condição II de umidade). ...	57
Quadro 12 - Valores de CN para áreas rurais e naturais (Condição II de umidade).....	57
Quadro 13 - Estimativas da área impermeável do Cenário C1	58
Quadro 14 - Equivalência das feições dos cenários C2 e C3 segundo SCS (1986).....	59
Quadro 15 - Condições de umidade do solo no método SCS	59
Quadro 16 – Estimativas da quantidade de sedimentos depositados na drenagem urbana em algumas cidades brasileiras.	82
Quadro 17 - Aspectos gerais propostos para o monitoramento	83
Quadro 18 - Parâmetros e sua frequência no programa de monitoramento do reservatório de detenção	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área da BCAT.....	62
Tabela 2 - Valores médios de CN calculados para as subbacias da BCAT nos Cenários C1, C2 e C3.....	72
Tabela 3 - Comparação entre as vazões de pico (Qp) e tempos de pico (tp) na Avenida Dr. Airton Teles nos 3 cenários ambientais.....	76
Tabela 4 - Incremento de área da BCAT e fator de aumento da vazão.....	77
Tabela 5 - Pré-dimensionamento do volume de detenção	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCAT	Bacia de Contribuição da Avenida Dr. Airton Teles
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BMP	Best Management Practices
CN	Número de curva
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
EMURB	Empresa Municipal de Obras e Urbanização
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LID	Low-impact Development
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OD	Oxigênio Dissolvido
SCS	Soil Conservation Service
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SST	Sólidos suspensos totais
ST	Sólidos Totais
SUDS	Sustainable Drainage Systems
USA	Estados Unidos da América
USEPA	Environmental Protection Agency
TAUDEM	Terrain Analysis Using Digital Elevation Models

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2	OBJETIVO	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	O FENÔMENO DE URBANIZAÇÃO NO BRASIL E O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS	14
2.2	ARACAJU E O SEU CRESCIMENTO URBANO	15
2.3	HIDROLOGIA URBANA	19
2.4	MODELAGEM HIDROLÓGICA	26
2.5	SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA INUNDAÇÕES URBANAS	34
3	METODOLOGIA	39
3.1	ÁREA DE ESTUDO	39
3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS	43
3.3	DETERMINAÇÃO DE CENÁRIOS DE URBANIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO	44
3.4	LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO	45
3.5	ABC 6 E ELABORAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	46
3.5.1	Intervalo de discretização dos dados	46
3.5.2	Período de retorno da precipitação	46
3.5.3	Área total, impermeável e diretamente conectada	47
3.5.4	Tempo de concentração	49
3.5.5	Curvas IDF	54
3.5.6	Duração da chuva	54

3.5.7	Precipitação efetiva	54
3.5.8	Hidrogramas	60
3.6	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE VOLUME DE DETENÇÃO NA MICROBACIA	60
3.7	PROGRAMA DE MONITORAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	ALTERAÇÕES NA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DA MICROBACIA	62
4.2	ALTERAÇÕES NO USO DO SOLO E ESTIMATIVA DO CN.....	68
4.3	DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO	74
4.4	HIDROGRAMAS DE CHEIA.....	75
4.5	DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DE DETENÇÃO.....	79
4.6	PROGRAMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PARA RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO	81
5	CONCLUSÃO	86
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICES	95
	ANEXOS	118

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A ausência de planejamento urbano no Brasil nas últimas décadas, acarretado pelo intenso e acelerado fator de urbanização trouxe uma série de consequências graves do ponto de vista ambiental e hidrológico no meio urbano. Zonas residenciais foram erguidas nas cidades sem qualquer tipo de planejamento do uso do solo, muitas vezes ocupando áreas vulneráveis a riscos naturais como várzeas de rios e encostas.

O principal efeito desse padrão de ocupação desordenado foi o aumento frequente da ocorrência de desastres hidrológicos. Além disso, as águas pluviais contêm uma alta carga de poluentes provenientes do contato da precipitação com as diversas superfícies do meio urbano. Essa carga poluidora é ainda potencializada quando os serviços de saneamento, como a coleta de resíduos sólidos e efluentes sanitários são ineficazes.

O município de Aracaju insere-se nesse contexto, pois a cidade possui mais de 70 canais de macrodrenagem construídos no intuito de conter as águas pluviais, sendo que alguns deles, como o canal da Avenida Dr. Airton Teles sofre frequentemente problemas de alagamentos (EMURB, 2013). Além disso, segundo Santana *et al.* (2015), o canal recebe contribuição de ligações sanitárias e a própria população deposita resíduos e entulhos nas suas águas.

No que tange a alteração do padrão hidrológico, diversos estudos utilizam parâmetros relacionados com a mudança do uso do solo para prever o comportamento da precipitação quando atinge a superfície terrestre. Alguns se limitam apenas a dividir superfícies terrestres em permeáveis e impermeáveis, enquanto outros necessitam de dados mais precisos quanto ao tipo de elemento que cobre o solo, e até mesmo as características do próprio solo para quantificar o escoamento superficial, como o método do Soil Conservation Service (SCS).

O comportamento dos eventos de precipitação também é um fator importante no estudo do *runoff*, e deve ser considerado na determinação de vazões de projeto, como em reservatórios de retenção, que além de serem caracterizados como alternativas sustentáveis, atenuam de maneira significativa o impacto quantitativo do escoamento urbano. Esse tipo de medida estrutural tem ainda um potencial grande na remoção de vários tipos de substâncias

como sólidos, metais, bactérias, entre outros, garantindo exigências legais ambientais no que diz respeito ao controle da poluição, como a Resolução CONAMA 430/2011.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do presente trabalho é analisar as alterações no escoamento superficial em uma microbacia urbana no município de Aracaju-SE em função das mudanças no uso do solo e da implantação da rede de macrodrenagem local.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir cenários ambientais e avaliar as mudanças nas suas áreas de contribuição;
- Analisar as mudanças no uso do solo e determinar os valores do parâmetro Número de Curva (CN) para cada cenário ambiental;
- Calcular os tempos de concentração da Bacia de Contribuição da Av. Dr. Airton Teles nos cenários ambientais definidos;
- Elaborar hidrogramas de cheia para os diferentes cenários do trecho da Avenida Dr. Airton Teles através do método de Santa Bárbara;
- Avaliar a evolução temporal das vazões de pico e realizar o pré-dimensionamento do volume de retenção necessário para compensar a vazão excedente;
- Propor um plano de monitoramento ambiental para reservatórios de retenção.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O FENÔMENO DE URBANIZAÇÃO NO BRASIL E O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Nas últimas décadas, a maioria dos brasileiros trocou o campo pelas cidades. A população urbana saltou de 36,1% em 1950 para aproximadamente 84,4% no ano de 2010, sendo que somente as regiões metropolitanas estavam acolhendo no último período citado 43,91% de todos os habitantes do país (IBGE, 2010). O êxodo rural em massa direcionado para áreas reduzidas fez parte de um processo socioeconômico caracterizado substancialmente pela busca de emprego e renda, cuja velocidade e desenvolvimento, geraram um quadro desordenado com grandes demandas sociais, potencializadas regionalmente (TUCCI, 2007; SOUZA, 2005).

A ausência de planejamento urbano foi um dos principais agravantes dos atuais problemas de infraestrutura dos grandes núcleos populacionais brasileiros, se não o principal, acarretado por esse fenômeno espontâneo de inchamento populacional. Para Tucci (2007) p. 29 “O meio formado pelo ambiente natural e a população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados, que sem controle, pode levar a cidade ao caos”, dessa forma, a variável ambiente exerce um impacto de grandes proporções na sociedade civil, pois o ser humano depende de uma série de recursos naturais para realizar as suas atividades e, além disso, está à mercê de fenômenos naturais periódicos.

Tucci (2005) menciona que dentro do contexto ambiental urbano, os principais sistemas hídricos são: os mananciais de água; o abastecimento de água; o saneamento de efluentes sanitários; o controle da drenagem urbana e o controle das inundações.

A lei nº 11.445, por meio do art. 3º define o Saneamento Básico e, considera a drenagem urbana como um dos seus ramos:

[...] conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

[...]

(d) Drenagem e Manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas

pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas; (BRASIL, 2007)

A referida lei enquadra ainda o abastecimento de água potável, a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e o esgotamento sanitário como componentes do saneamento.

O controle de enchentes, citado por Tucci (2005) poderia estar especificado de maneira mais explícita na lei citada, pois está relacionado diretamente com a drenagem urbana e o manejo de águas pluviais, que foram quase que ignorados no parcelamento do solo nos grandes centros urbanos brasileiros. A implantação de loteamentos construídos sem condições técnicas, a ocupação de áreas indevidas como várzeas de inundação, a proliferação de favelas e a ocupação extensa e adensada, impossibilitam a construção de canalizações e eliminam áreas que originalmente apresentavam capacidade de armazenamento e amortecimento de precipitação, acarretando em enchentes e prejuízos de ordem social e econômica (CANHOLI, 2014; PORTO *et al.*, 2009).

Além disso, a ocorrência de inundações somado a precariedade da coleta de efluentes sanitários no Brasil, muitas vezes realizado através da própria rede de drenagem urbana, e, uma ineficaz coleta de resíduos sólidos, expõe os cidadãos ao risco de contrair doenças de veiculação hídrica através do contato com água contaminada proveniente do contato da água pluvial com essas fontes poluidoras.

É notável como cada elemento do saneamento básico influencia o outro. Todos estão integrados, e é impossível lidar com os problemas de manejo de águas pluviais e de enchentes sem considerar todos os outros elementos das águas urbanas.

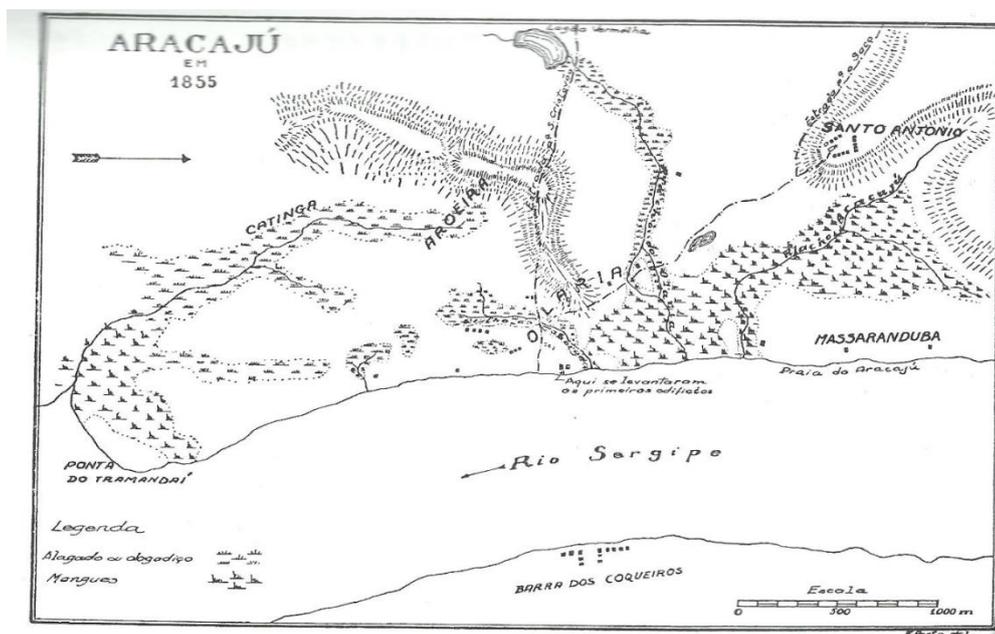
2.2 ARACAJU E O SEU CRESCIMENTO URBANO

Vilar (2006) salienta que Aracaju é uma cidade criada, fundada em 1855 para ser a capital da província de Sergipe, e abrigar um porto para dinamizar as atividades mercantis, trazendo progresso através do aumento da riqueza dos grandes comerciantes.

Segundo Porto (1991), a região de planície onde hoje é localizada a cidade de Aracaju, se sobressaía geograficamente frente a antiga Capital da província: São Cristovão, cercada de

encostas íngremes; e de importantes vilas como Estância e outras da região do Cotinguiba: Maruim, Laranjeiras e Porto das Redes, que apesar da importância econômica na época e do intenso cultivo da cana-de-açúcar, não contavam com o mar que contribuía para a chegada e escoamento de mercadorias. A Figura 1 compreende um mapa da região em 1857 onde hoje se encontra a porção Norte da cidade de Aracaju.

Figura 1- Mapa de Aracaju em 1855



Fonte: PORTO (1991)

A cidade de Aracaju, antigo povoado de Santo Antônio de Aracaju, foi implantada inicialmente na forma de um plano de quadrículas com um modelo viário ortogonal, reproduzido quase que de forma semelhante por grande parte da cidade (PORTO, 1991; VILAR, 2006). Esse traçado planejado garantiu certa disciplina diante da ocupação causada pela transferência da antiga capital para as praias de Aracaju (SOUZA, 2005).

A aglomeração urbana cresceu de forma lenta até o primeiro quarto do século XX quando a cidade realmente se afirmou como sede do poder político-administrativo e econômico de Sergipe (VILAR, 2006). Para Souza (2005), a ação forte e reguladora do estado acabou segregando a cidade num centro habitado pela classe mais abastada, onde localizavam ainda o mercado, os armazéns e o porto, e numa região mais ao sul, onde os cidadãos mais pobres ocupavam terrenos ecologicamente frágeis.

Ainda segundo Vilar (2006), diversas obras de infraestrutura e de saneamento tais como a implantação de serviços de água e esgotos foram executadas exclusivamente nas regiões centrais onde a elite residia entre 1908 e 1919 e refletem o período higienista. Outrossim, a cidade recebeu diversos outros equipamentos urbanísticos como escolas e edifícios públicos, e novos bairros surgiram, como o atual Siqueira Campos, sendo também beneficiados com algumas das benfeitorias do centro.

Apesar da tentativa de urbanização controlada, a capital sergipana se consolidou numa área inundável repleta de lagoas, pântanos, manguezais, relativamente baixa em relação ao nível do mar, e de pequenos cursos d'água tais como os riachos Aracaju, Caborge, Tramandaí e Olaria, elementos estes que foram sendo totalmente descaracterizados por meio de aterros com materiais de vizinhança ou que acabaram canalizados (VILAR, 2006; SOUZA, 2005).

Segundo Pinheiro e Santos (2012), o aumento populacional da década de 20 em diante trouxe diversas transformações à cidade, pois aumentou a demanda de moradia, lazer, comércio, educação e trabalho.

Já na década de 80, Aracaju sofreu um “boom” no crescimento urbano. Segundo Souza:

Foram anos marcados pelo crescimento e surgimento de empresas da construção civil, beneficiadas pelo Sistema Financeiro da Habitação e pela contratação de obras públicas; pela incorporação de imensas áreas rurais ao perímetro urbano, sem uma preocupação com a continuidade da malha urbana e sem a implantação da infraestrutura necessária [...]. (SOUZA, 2005, p. 47)

Esse processo ainda ocorre, porém, num ritmo menor, devido ao atual quadro de ocupação do município, com poucos vazios urbanos, situados principalmente na Zona de Expansão da cidade.

Apenas em meados de 2000, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) foi instituído em Aracaju, de maneira tardia, como no resto do país, visto que a área urbana da cidade já estava totalmente consolidada. A falta de um gerenciamento municipal competente e o favorecimento de grupos minoritários privilegiados nas decisões tomadas vem ocasionando numa série de problemas de infraestrutura ligados ao crescimento desordenado da cidade (MACHADO, 2012).

O aumento gradativo da impermeabilização do solo urbano de Aracaju e a precariedade da infraestrutura de drenagem e manejo de águas pluviais têm causado sérios transtornos à população, como inundações, prejuízos materiais, desmoronamentos de encostas e problemas de mobilidade (ARAÚJO, 2006). Essa situação se agrava com a influência das marés e afogamento dos sistemas de macrodrenagem existentes, sobretudo em áreas de cotas baixas, mais vulneráveis a alagamentos, pois o direcionamento das águas pluviais da cidade se dá exclusivamente por gravidade (GIAU, 2010).

A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) notificou desde 1940, 7 eventos de enxurradas e 1 evento de alagamento na capital sergipana (BRASIL, 2016). O Quadro 1, logo abaixo mostra os dias de ocorrência e o tipo de evento na cidade de Aracaju-SE.

Quadro 1 - Registros de enxurradas e alagamentos na cidade de Aracaju entre 1940 e 2015

Data de Ocorrência	Tipo de Evento
06/05/1986	Enxurrada
03/07/1987	Enxurrada
26/04/1989	Enxurrada
28/05/1991	Enxurrada
31/12/1991	Enxurrada
04/06/1997	Enxurrada
08/04/2010	Alagamento
24/05/2011	Enxurrada

Fonte: BRASIL (2016)

Em 2010, o alagamento notificado afetou potencialmente diversas áreas da cidade, principalmente os bairros Santa Maria, Coqueiral, Porto Dantas e a Zona de Expansão da cidade, além de comprometer encostas, canais, vias e outros equipamentos urbanos em todo o município (BRASIL, 2016). Segundo o órgão, foram registrados 400 mm de precipitação num intervalo de 5 dias, causando inundações urbanas, desmoronamento de muros, destruição de casas e perdas de serviços, somando um prejuízo de aproximadamente 57 milhões de reais.

2.3 HIDROLOGIA URBANA

Uma bacia hidrográfica é uma área onde diversos processos hidrológicos tais como precipitação, interceptação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial se integram. Para Brooks *et al.* (2003) esse elemento é encarado como uma unidade hidrológica fundamental tanto no âmbito físico-biológico quanto nas esferas socioeconômica e política, principalmente no que diz respeito ao planejamento e gerenciamento dos recursos naturais.

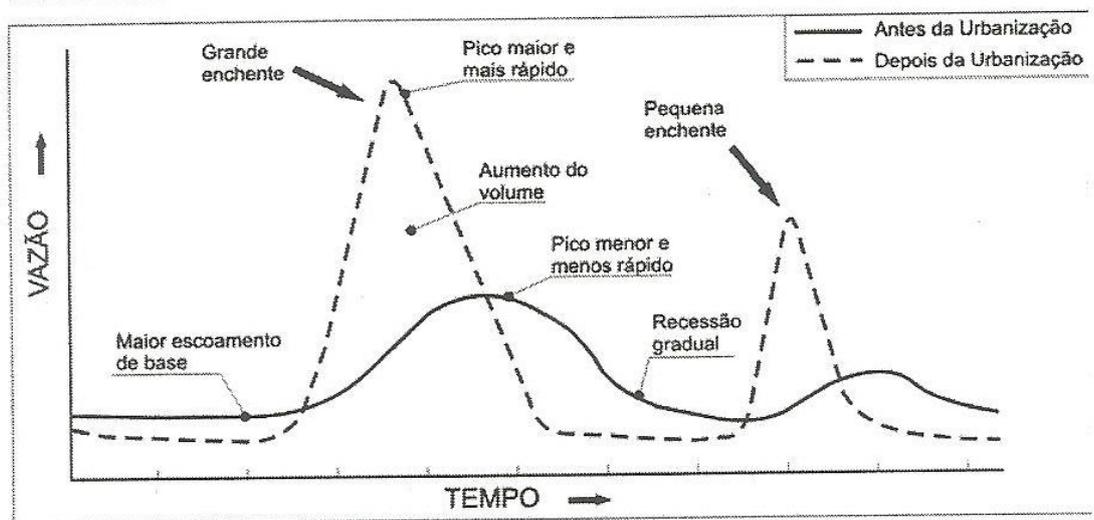
A conversão do ambiente original em urbano altera significativamente o ciclo hidrológico local, pois segundo Gribbin (2014) afeta os 3 principais destinos da precipitação que atinge a superfície: o escoamento superficial, o escoamento subsuperficial e a água subterrânea. Nas condições naturais sem a influência das construções humanas, haveria um balanço constante dessas parcelas, porém com a substituição de grande parte das áreas verdes e do solo original por pavimentos e telhados, elementos tipicamente urbanos, a infiltração da água no solo é reduzida e o escoamento superficial é potencializado (TUCCI, 2007; USEPA, 1993).

Tucci (2007) também cita outras influências negativas desse efeito no ciclo hidrológico, como:

- A redução substancial da evapotranspiração devido a remoção de grande parte da cobertura vegetal original e consequente não retenção de água;
- A substituição da interceptação vegetal pela interceptação nos equipamentos urbanos;
- O aumento da velocidade de escoamento superficial;
- A diminuição do escoamento de estiagem, já que ocorre baixa recarga das águas subterrâneas;

Todas essas alterações refletem no hidrograma, sendo importante destacar o aumento das vazões de pico e a redução dos tempos de concentração de sua ocorrência como pode ser verificado na Figura 2.

Figura 2 - Hidrogramas de cheias de uma região antes e depois do fenômeno de urbanização.

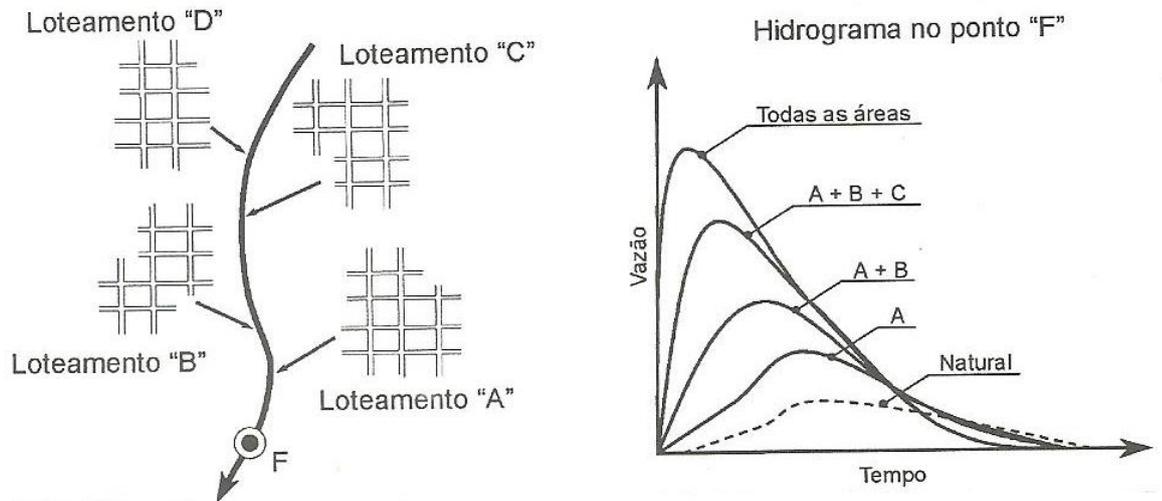


Fonte: SCHUELER (1987) *apud* TUCCI (2007)

Em uma região não tão urbanizada, o pico de vazão de uma tormenta ocorre de maneira gradual e limita-se a um valor relativamente baixo devido ao efeito tampão da infiltração e conversão em escoamento básico, como mostra a linha contínua no gráfico. Por outro lado, numa região urbana, a parcela de vazão escoada superficialmente é maior e o ápice se desenvolve de maneira acentuada e mais rápida, apresentando um comportamento semelhante de decaimento, porém como a percolação subterrânea é menor, há redução do escoamento de base, como pode ser visto através da linha tracejada no gráfico mostrado.

A tendência de ocupação urbana e impermeabilização progressiva do solo aumenta cada vez mais o escoamento da vazão a jusante, e quando a cidade não considera esse aspecto no planejamento urbano, pode sofrer com inundações pontuais. A Figura 3 refere-se ao efeito sinérgico do *runoff* gerado pela implantação de diversos loteamentos numa mesma área, que geralmente segundo Tucci (2007), durante a fase de projeto só consideram a vazão impermeabilizada no próprio loteamento, sobrecarregando a rede pública de drenagem.

Figura 3 - Mudança no hidrograma com a implantação progressiva de empreendimentos.



Fonte: TUCCI (2007)

Segundo USEPA (1993) esses dois aspectos contribuem para uma maior severidade e frequência na ocorrência de alagamentos nos grandes centros urbanos. O autor define ainda que o aumento das vazões de pico podem acarretar numa maior erosão nas superfícies da bacia de drenagem, causando assoreamento de canais naturais e artificiais e assim um aumento do nível do leito normal desses elementos. As inundações ribeirinhas podem estar relacionadas diretamente com esses impactos.

Por outro lado, Tucci (2007) afirma que existe uma compensação na infiltração natural de recarga subterrânea, ocasionada pelo vazamento das redes de abastecimento de água e do sistema de esgotamento sanitário urbano. Para título informativo, no Brasil, a média de perdas durante a etapa de distribuição da água tratada para cidades com população acima de 100 mil habitantes varia entre 20 e 50 %, um valor relativamente alto (IBGE, 2011). Entretanto, esse "balanceamento" não impede os prejuízos ocasionados no compartimento superficial, pelo aumento do *runoff*.

No contexto meteorológico, a urbanização também consegue influenciar os microclimas nas cidades, causando gradientes em parâmetros hidrológicos como a temperatura e a precipitação. O asfalto e o concreto, elementos predominantes dos grandes centros urbanos, absorvem mais energia solar do que as superfícies naturais e potencializam as ilhas de calor, fenômeno que criam bolsões de temperatura maior nos centros, que podem ser comparadas com

as zonas suburbanas, onde as temperaturas se mantêm mais agradáveis devido à presença maior de áreas verdes.

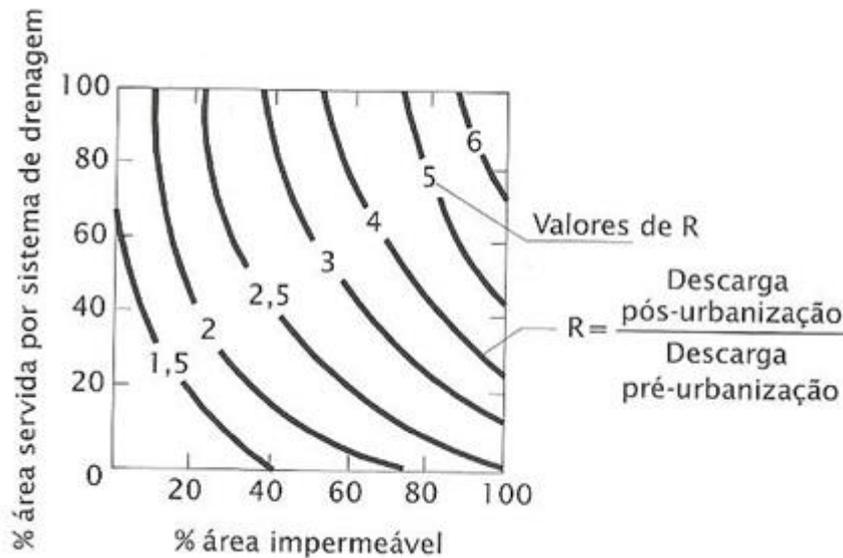
Tucci (2007) menciona que esse aumento de temperatura nas regiões com ilhas de calor, pode favorecer a circulação de ar ascendente, podendo assim aumentar a precipitação. Pereira Filho *et al.* (2007) citam o aumento da área urbana horizontal e vertical - que modificam respectivamente o balanço energético superficial e a dinâmica da camada limite - e a poluição do ar, que altera a microfísica, eletricidade e termodinâmica de nuvens frias, como as principais causas da variação de precipitação com a evolução das ilhas de calor.

Segundo Leopold (1968), para uma melhor compreensão dos efeitos hidrológicos devido mudanças de uso do solo, devem ser utilizados parâmetros hidrológicos, ou melhor, variáveis hidrológicas, que podem ser avaliadas e interpretadas. Nesse contexto, Tucci (2007) cita a área impermeável e o tempo de concentração como os principais indicadores hidrológicos de urbanização.

Diversos autores mencionam ainda uma relação entre a área impermeável da bacia urbana e a densidade habitacional da região, porém fatores como o tipo de ocupação predominante (industrial, comercial ou habitacional), o relevo, o número de pessoas por unidade habitacional, a distribuição de áreas verdes e pavimentadas na cidade, entre outros, podem afeta-la, sendo essencial o estudo e cruzamento dessas informações para o planejamento do espaço urbano (TUCCI, 2007; REIS *et al.*, 2011).

Leopold (1968) mostra no gráfico da Figura 4 que a *runoff* não muda apenas com o grau de impermeabilização da bacia, mas também sofre influência da porcentagem de cobertura da área atendida pela rede de drenagem. Canholi (2014) explica que a implantação de sistemas de drenagem considera velocidades altas de escoamento nos condutos, causando assim uma diminuição do tempo de concentração da onda de cheia e assim aumento da descarga na drenagem. De acordo com o gráfico, o fator que relaciona a vazão de uma região pós-urbanizada e a mesma região antes da urbanização pode alcançar valores maiores que 6 dependendo das duas variáveis citadas.

Figura 4 - Relação das vazões de pós-urbanização com as vazões de pré-urbanização em função da área impermeável e da área coberta por sistema de drenagem de águas pluviais



Fonte: LEOPOLD (1968) *apud* CANHOLI (2014)

Isso mostra que a existência de áreas não conectadas ao sistema de drenagem é uma forma de amenizar a descarga gerada pelas precipitações. Grandes áreas abertas como parques, campos de futebol, cemitérios, podem contribuir com esse efeito.

Sendo assim, o tempo de concentração em bacias urbanas também é seriamente afetado pelo processo de urbanização. A impermeabilização e o direcionamento das águas através do sistema de manejo de águas pluviais acabam aumentando a velocidade do escoamento e diminuindo o tempo que a precipitação transformada em *runoff* se desloca do ponto mais remoto da bacia até a sua saída (TUCCI, 2007). Esse efeito está conectado intimamente ao aumento repentino dos picos de cheia nos hidrogramas de uma região urbana típica.

Segundo Canholi (2014) os métodos mais adequados para cálculo do tempo de concentração em bacias urbanas, como o método do Soil Conservation Service (SCS, 1986), apresentam enfoque cinemático e consideram a adição de 3 frações da variável, como pode ser observado na eq. (1).

$$t_c = t_s + t_n + t_q \quad (1)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração;

t_s = tempo de escoamento em superfície (h);

t_n = tempo de escoamento em canais rasos (h);

t_q = tempo de escoamento em canalizações (h);

Ressalta-se neste sentido que o escoamento em superfície é verificado no início do talvegue e o de canais rasos compreende a concentração desses escoamentos quando são formados pequenos canais, a última parcela já cobre o trecho canalizado da bacia, onde o escoamento já ocorre em um meio definido, e parâmetros como a velocidade do escoamento, a rugosidade e o raio hidráulico dos canais são considerados nas equações de determinação do tempo de concentração (CANHOLI, 2014).

Além do aumento excessivo do *runoff*, a alteração da qualidade das águas pluviais também é considerado um efeito substancial do crescimento urbano. Segundo Tucci (2007), a limpeza urbana e sua frequência, as características de intensidade e espaço-temporais da precipitação e o tipo de uso da área urbana modificam diretamente a qualidade da água do escoamento superficial no meio urbano.

Essa modificação decorre da precipitação que contém substâncias provenientes da poluição atmosférica e carrega ainda substâncias aderidas ou depositadas nas superfícies das cidades. Brooks *et al* (2003) salientam que substâncias como o dióxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio provenientes da industrialização e queima de combustíveis fósseis, e, o mercúrio volatilizado de atividades humanas como a produção de metais e o gerenciamento de resíduos, acabam alcançando rios e lagos através da deposição pela precipitação e as rotas seguintes do ciclo hidrológico, modificando as condições naturais dos corpos d'água e afetando consequentemente os ecossistemas aquáticos.

Outro fator que altera diretamente a qualidade do escoamento superficial é o gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos, pois os resíduos antes estabilizados no local de depósito, ficam vulneráveis à ação solubilizante da água que transporta diversas substâncias através das vias de escoamento. Esses materiais agem também na redução da eficiência da

drenagem, já que se acumulam nos sistemas de microdrenagem, ocasionando obstruções na rede coletora.

Segundo USEPA (1993) e Gribbin (2014), diversos são os contaminantes com características encontrados nas águas do escoamento superficial do meio urbano tais como: sedimentos, resíduos sólidos grosseiros, fosfatos, nitratos, substâncias que consomem oxigênio, metais pesados, hidrocarbonetos, pesticidas, sais, bactérias e vírus patogênicos. Brooks *et al.* (2003) expõem que grande parte desses poluentes se aderem às partículas de silte, argila entre outras partículas coloidais, devido a sua alta capacidade de troca, e são assim carregados em suspensão. Os autores comentam ainda sobre a influência negativa dos próprios sedimentos na biota aquática, como por exemplo nos organismos fotossintetizantes, cuja sobrevivência e função base na cadeia alimentar são afetados pelo bloqueio da luz solar provocada pela intensa turbidez; nas comunidade bentônicas, onde os organismos podem sofrer asfixia; e nos peixes que podem perder o habitat nas rochas de fundo que acabam sendo totalmente cobertas por partículas sedimentáveis.

Tucci (2005) aponta por exemplo que o escoamento superficial produzido no início de um evento de precipitação consegue transportar 95% da carga poluente que revestiu o solo desde a última chuva.

Ainda se referindo aos fatores que prejudicam a qualidade do *runoff*, uma coleta de esgoto inadequada também pode ser estar relacionada com esse aspecto. No Brasil, as redes de esgoto são geralmente separadas da rede pluvial, porém diversas residências ainda mantêm ligações construídas antes da implantação da rede de esgotos ou conectam as suas saídas de esgoto à rede de drenagem pluvial de forma clandestina o que interfere no manejo qualitativo das águas urbanas aumentando a carga orgânica do corpo hídrico (TUCCI, 2007).

Canholi (2014) salienta que o Brasil ainda tenta lidar com o problema quantitativo das enchentes em contrapartida aos países mais desenvolvidos, onde o controle de enchentes já se encontra evoluído e os esforços são direcionados principalmente no aspecto de qualidade das águas pluviais coletadas.

No contexto do monitoramento e caracterização da qualidade de corpos hídricos, Brooks *et al.* (2003) destacam alguns dos principais parâmetros indicadores de qualidade da água superficial:

- Físicos: Temperatura, turbidez - relacionada com a quantidade de materiais suspensos - densidade, odor, cor;

- Químicos: pH, DBO (Demanda bioquímica de oxigênio), DQO (Demanda química de oxigênio), oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, substâncias dissolvidas;
- Biológicos: bactérias, protozoários; organismos indicadores aquáticos.

Nesse aspecto, a resolução CONAMA N° 430 (BRASIL, 2011) estabelece valores padrão desses e de uma série de outros parâmetros para o lançamento em corpos d'água receptores. Essa restrição no lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora vai de encontro aos objetivos da Lei N° 9.433 (BRASIL, 1997) no seu artigo 2º, inciso I: “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Os usos na qual a lei cita se referem aos usos da água nas atividades humanas que vão desde a produção elétrica e abastecimento público, até recreação e uso na pecuária para dessedentação animal. A resolução CONAMA N° 357 (BRASIL, 2005) da mesma forma, estabelece valores padrão de qualidade de água para corpos hídricos, relacionando-os com os usos preponderantes das suas águas e assim rotulando-os através de classes de enquadramento, que é um dos instrumentos de alicerce da Política Nacional de Recursos Hídricos.

2.4 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Modelos matemáticos compreendem a representação de fenômenos reais através de equações baseadas em teorias ou observações empíricas, que buscam prever eventos passíveis de ocorrer no sistema estudado. Na hidrologia, essas simulações são largamente usadas no ambiente computacional e podem prever a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica quanto às suas práticas de gerenciamento, permitindo um melhor entendimento das suas influências (BROOKS, 2003). Dentre as vantagens da utilização dos modelos têm-se:

- A economia relativa aos custos da não adoção da análise real que é mais dispendiosa;
- Flexibilidade de análise devido a facilidade de alteração de variáveis e parâmetros escolhidos;
- O seu papel como ferramenta de aprendizado e concepção de novas idéias;

Nesse sentido, Canholi (2014) destaca que a combinação da modelagem na bacia hidrográfica e na macrodrenagem urbana é uma ferramenta poderosa de avaliação de cenários para o planejamento da drenagem urbana.

Tucci (2005) menciona ainda que a simulação de um fenômeno hidrológico é limitada pela heterogeneidade das características físicas da bacia e dos processos envolvidos, fato que ocasiona no desenvolvimento de uma ampla variedade de modelos que se diferem através dos dados utilizados, da discretização, das prioridades na representação dos fenômenos e dos objetivos destinados. O autor salienta que os modelos podem ser classificados da seguinte maneira:

- **Conceitual e empírico:** Quando os processos físicos são considerados na criação do modelo, o mesmo é caracterizado como conceitual, enquanto que nos modelos empíricos, os valores calculados são ajustados aos dados observados sem uma relação com os processos físicos;
- **Modelos com ausência ou presença de memória:** Enquanto que nos modelos com memória zero, a entrada influencia o sistema apenas no tempo que ela ocorre, em modelos com memória infinita, a simulação depende de todo o passado de entrada de dados;
- **Contínuo ou discretos:** Essas diferenças são relativas à variável tempo, contínuo quando o processo é contínuo no tempo e discreto quando as alterações são representadas em intervalos;
- **Concentrado ou distribuído:** São concentrados quando não consideram a variabilidade espacial, e distribuídos quando as variáveis usadas dependendo tempo e/ou do espaço;
- **Estocástico ou determinístico:** Recebe a primeira denominação quando a probabilidade influencia o resultado, e pode ser caracterizado como determinístico quando esse conceito é ignorado.

Tucci (2005) salienta que uma das principais aplicações dos modelos hidrológicos é o estudo dos efeitos da modificação do uso do solo, problema complexo, onde formulações

empíricas auxiliam na representação de processos devido as sérias limitações causadas pela heterogeneidade da bacia hidrográfica.

Entretanto, há uma carência de um banco de dados fluviométricos para estudos hidrológicos com ênfase na drenagem urbana, o que exige a utilização de modelos matemáticos do tipo chuva/vazão para a elaboração de hidrogramas de projeto (CANHOLI, 2014). As séries de precipitação em geral cobrem um horizonte histórico maior que as fluviométricas e são a base para a estimativa do deflúvio (TUCCI, 2005). A intensidade máxima de precipitação é um dos parâmetros mais comumente utilizados no dimensionamento de canais. As curvas de Intensidade-Duração-Frequência, ou curvas IDF, por exemplo, se baseiam no registro histórico das lâminas de precipitação e suas durações, relacionados estatisticamente ainda com o período de retorno de um evento chuvoso, segundo o risco de segurança aceito no projeto, representado pelo Período de Retorno.

Para Canholi (2014) a utilização de processos indiretos ou modelos sintéticos para a determinação de hidrogramas de projeto é essencial vide esse cenário comum de escassez de dados fluviométricos ou até mesmo as dificuldades na sua determinação. Esses métodos necessitam da determinação do excesso de precipitação e da forma do hidrograma requerido.

Nesse contexto, o método racional do SCS (1986), utilizado determinação da precipitação excedente, vem sendo largamente utilizado pois necessita de poucos parâmetros que estão inter-relacionados com as características físicas da bacia. O método originou-se através da análise de mais de 3 mil tipos de solos e coberturas de vegetação e plantações, onde foram verificadas relações empíricas correlacionando a capacidade de armazenamento da bacia a um índice denominado número de curva ou CN, que depende dessas características (SCS, 1986). A eq. (2) mostra a relação comentada.

$$S_D = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Onde:

S_D = Armazenamento Máximo (mm);

CN = Número de curva;

De acordo com Tucci (2005), a equação original em unidades inglesas adequa o valor de CN numa faixa de 1 a 100, retratando nos valores mais baixos condições permeáveis e solo com grande taxa de infiltração até valores mais próximos do limite superior da faixa representando uma cobertura completamente impermeável e solos com baixa infiltração. A precipitação excedente para cada intervalo discreto de tempo pode ser então calculada ainda através da eq. (3) (SCS, 1986).

$$R = \frac{(P - I_A)^2}{(P - I_A) + S_D} \quad (3)$$

Onde:

R = Precipitação excedente (mm);

P = Precipitação (mm);

I_A = Abstração inicial (mm);

S_D = Armazenamento máximo (mm);

Ressalta-se que o modelo de chuva/vazão é complementado pela elaboração do hidrograma em si. O método de Santa Bárbara, por exemplo, considera que a área de captação da bacia é totalmente influenciada pelo sistema de drenagem e as perdas da precipitação são desprezadas (CANHOLI, 2014). Segundo Canholi (2014), o método combina as vazões das áreas permeáveis e impermeáveis para desenvolver um hidrograma instantâneo das vazões que excedem, sofrendo ainda atenuação igual ao tempo de concentração da bacia. O cálculo se procede para cada ordenada do hidrograma como mostra a eq. (4).

$$I = [i \cdot d + i_e \cdot (1,0 - d)] \cdot A_d \quad (4)$$

Onde:

I = ordenada do hidrograma instantâneo;

i = precipitação;

d = parcela de área impermeável;

i_e = precipitação excedente da área permeável;

A_d = área total de drenagem;

Já o hidrograma propriamente dito pode ser determinado através das eq. (5) e eq. (6), onde j e $j-1$ indicam intervalos sucessivos de tempo.

$$Q_j = Q_{j-1} + K_r(I_{j-1} + I_j \cdot 2Q_{j-1}) \quad (5)$$

Onde:

Q = Deflúvio (m^3/s);

$$K_{rj} = \frac{\Delta t}{2t_c + \Delta t} \quad (6)$$

Onde:

t_c = Tempo de concentração (min);

Canholi (2014) define entre outros aspectos, a disponibilidade de modelos e configurações como indispensável na escolha de um *software* de simulação hidráulica e hidrológica. O autor explica que quanto maior o número de modelos disponíveis no *software*, maior a sua capacidade de se ajustar às situações de projetos.

Além disso, Brooks *et al.* (2003) citam que a simulação dos efeitos hidrológicos de aumento e diminuição de escoamento superficial e dos picos de cheia são instrumentos essenciais de uso dos gestores de bacias hidrográficas e deve apresentar principalmente exatidão de predição, simplicidade relativa ao número de parâmetros envolvidos, consistência na estimativa de parâmetros e sensibilidade dos resultados às mudanças desses parâmetros.

Nesse contexto, desde a década de 90, o *software* brasileiro ABC criado inicialmente para fins acadêmicos, vem ganhando espaço como uma ferramenta profissional de resolução de problemas de drenagem urbana na macrodrenagem, principalmente por ser um Sistema de Suporte a Decisões simples, gratuito, inteligente e de fácil interface. Segundo Gouveia (2009),

os Sistemas de Suporte a Decisão compreendem um conjunto de tecnologias computacionais que permitem o cruzamento de informações e assim trazem maior capacidade de análise para os gestores.

A versão ABC6 permite a análise do comportamento de Ondas de Cheias geradas por tormentas de projeto em Bacias Complexas, cuja entrada de dados segue um formato de rede de fluxo composta de nós – que representam pontos de início, final, confluência de bacias ou reservatórios, e arcos, que podem ser bacias hidrográficas e trechos de canais naturais e artificiais (PORTO et. al, 1999). Os autores e desenvolvedores do *software* ainda mencionam que as opções disponíveis no programa para o dimensionamento de vazões de pico são baseados em métodos sintéticos, um perfil geralmente de pequenas bacias urbanas, uma vantagem de grande importância, pois não se exige tantas informações de entrada.

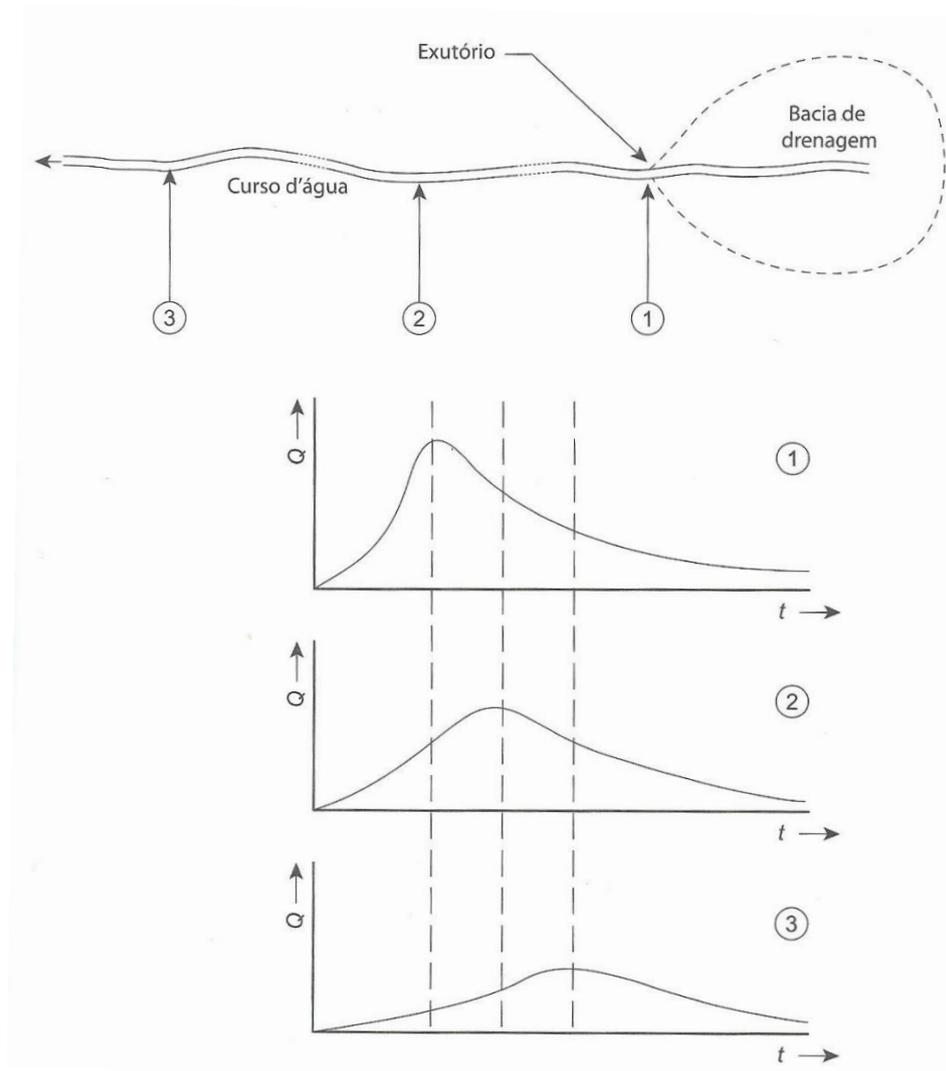
Tucci (2009) destaca que essa ferramenta é vantajosa sobre o método racional pois pode ser utilizada sem restrições para bacias com área de drenagem superior a 100 ha, considerando ainda a diversidade na distribuição de chuvas e de ocupação do solo.

Como *input*, o *software* requer apenas características físicas da bacia hidrográfica, dados de uso do solo, informações de canais, dentre outros, para assim elaborar os hidrogramas dos trechos apontados, com precipitação, escoamento superficial e o andamento da Onda de cheia.

O fenômeno de andamento de cheia depende de dois conceitos essenciais no estudo do escoamento de canais, reservatórios e bacias: a translação e o armazenamento. Para Porto (1995b), o primeiro é o movimento da água sobre os canais de forma paralela ao fundo, enquanto o segundo considera o movimento na direção perpendicular ao fundo do canal, representando parcela da lâmina excedente que fica retida na área de drenagem e que sofre retardamento no caminho para a seção de controle.

O amortecimento ou propagação da onda, derivado desses dois conceitos, se refere basicamente ao movimento da sua crista para jusante, com diminuição progressiva da sua altura conforme a onda se espalha no corpo d'água. A Figura 5 mostra a atenuação de uma onda de cheia em trechos de um rio.

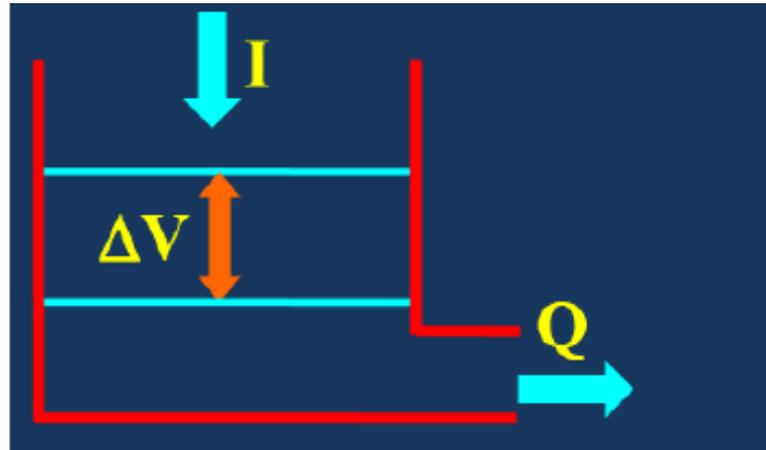
Figura 5 - Atenuação de uma onda de cheia propagada num curso d'água.



Fonte: CANHOLI (2014)

O armazenamento é dominante em reservatórios, pouco considerável em canais, com exceção de grandes várzeas de inundação, e importante em bacias de captação, com ressalva para bacias urbanas, devido a diminuição relativa da infiltração no balanço hidrológico (PORTO, 1995b). O método do hidrograma de Santa Bárbara considera por exemplo o efeito do armazenamento, representado através da Figura 6 sob a forma de um reservatório (WANIELISTA *et al.*, 1997 *apud* SILVEIRA, 2010 p. 100-102).

Figura 6 - Armazenamento e sua representação como um reservatório.



Fonte: Autor

Esse efeito pode ser comparado ao reservatório linear imaginário mostrado, onde é suposta uma função linear entre a vazão e o volume como mostra a eq. (7).

$$V = k \cdot Q \quad (7)$$

Onde:

V = volume (m^3)

k = constante.

Q = vazão (m^3/s)

Num certo intervalo de tempo pequeno e considerando alteração desprezível de volume, é possível resolver equação diferencial ordinária gerada e determinar sua constante, onde é definida ainda a hipótese de que k pode ser o tempo de concentração, e assim a constante pode ser representada como mostra a eq. (8).

$$C = \frac{\Delta t}{(2 \cdot t_c + \Delta t)} \quad (8)$$

Onde:

C = Constante;

Δt = Intervalo de tempo (min);

t_c = Tempo de concentração (min);

A constante C é denominada usualmente de coeficiente de retardo (k_r) e representa justamente o atenuamento da onda de cheia.

No método admite-se que a área impermeável da bacia é diretamente conectada ao sistema de drenagem, o que facilita a determinação da vazão de pico, já que áreas urbanas apresentam características heterogêneas no que tange ao uso do solo.

Assim como a modelagem hidrológica, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), também apresentam uma importância muito grande como ferramenta no Gerenciamento de Recursos Hídricos e até nos próprios *softwares* de modelagem. Tucci (2007) menciona que esse instrumento surgiu com a intenção de processar e gerar informação espacial e temporal de mapas, elaborados a partir de levantamento de campo, fotointerpretação, imagens de sensoriamento remoto, dentre outros recursos.

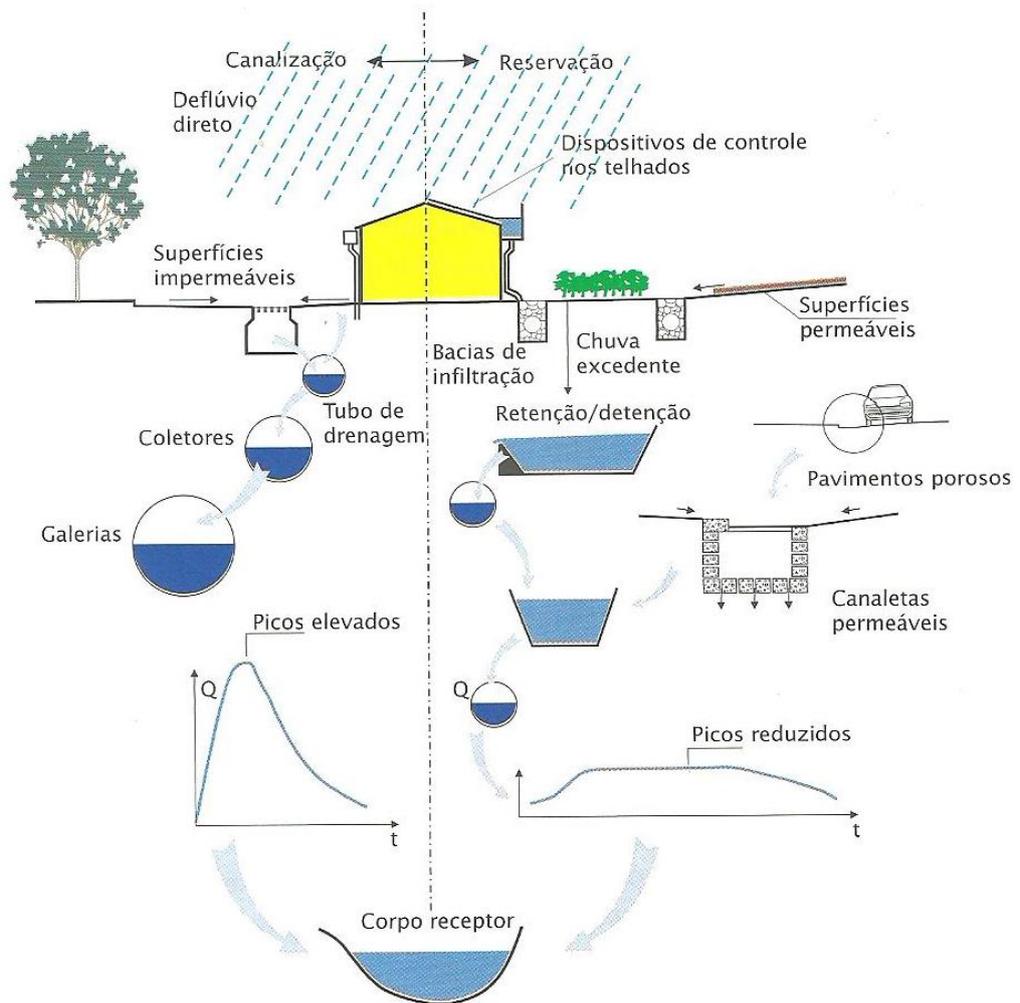
É importante salientar que o ABC6 ainda não apresenta uma integração direta com SIGs, porém segundo Canholi (2014) os SIGs já vem sendo utilizado em outros *softwares* por exemplo como uma ferramenta de inserção automática de dados de entrada ou como uma forma de apresentação de resultados das simulações hidrológicas em uma base cartográfica georreferenciada. Tanto a modelagem hidrológica quanto o uso de SIGs são indispensáveis na gestão das águas urbanas, sendo o alicerce dos projetos estruturais onde são aplicados.

2.5 SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA INUNDAÇÕES URBANAS

Canholi (2014) infere que a drenagem urbana é fundamentalmente uma questão de alocação de espaços, já que a adoção de medidas estruturais para a drenagem local como a ampliação de canais à nível local poderia resolver o problema na área, porém iria transferi-lo para a jusante. Walesh (1989) apud CANHOLI (2014, p. 31) propôs os conceitos de “canalização” e “reservação”. Enquanto no conceito de canalização são usadas técnicas convencionais de solução como implantação de galerias, canais concretados, retificação de

traçados, visando a concentração e o direcionamento rápido dos escoamentos, na “reservação” pretende-se favorecer a contenção, retardamento dos escoamentos e infiltração da precipitação. A Figura 7 esquematiza as possíveis soluções adotadas seguindo os conceitos mencionados e as suas consequências na redução dos picos de deflúvio.

Figura 7 - Comparação entre os conceitos de canalização e reservação e seus efeitos no *runoff* urbano.



Fonte: BRAGA (1994) *apud* CANHOLI (2014)

Enquanto o aumento da impermeabilização e a implantação de obras triviais de micro e macrodrenagem, que envolvem canalização, promovem picos de cheia no hidrograma, a utilização conjunta de técnicas que envolvem o conceito de reservação pode garantir a redução de picos de cheia no meio urbano.

Tucci (2007) divide as medidas estruturais de gestão de inundações à nível de bacia em dois tipos: extensivas, que atuam na bacia como um todo procurando principalmente lidar com a relação precipitação x vazão, principalmente através de reposição da cobertura vegetal na bacia, controle da erosão do solo e a recuperação de mata ciliar e do seu efeito buffer em inundações; e intensivas que ainda são subdivididas de acordo com as suas funções:

- Acelerar o escoamento: construção de diques e *polders*, aumento da condutância em rios e aumento da declividade;
- Amortecer e retardar o escoamento: reservatórios e bacias de amortecimento;
- Desviar o escoamento: canais de desvios.

Canholi (2014) cita dois tipos de técnicas que se baseiam no conceito de reservação, e assemelham-se as medidas intensivas do tipo “amortecimento e retardamento de escoamento” propostas por Tucci (2007): contenção na fonte e contenção a jusante.

Os dispositivos de contenção na fonte em geral são implantados próximos à geração do escoamento e ocupam pequenas áreas, causando efeitos positivos na drenagem quando utilizados em larga escala, porém muitas vezes não apresentam efetividade no controle de cheias na bacia como um todo. Segundo USEPA (2008) essas técnicas são complementares, porém vem sendo introduzidas na gestão da drenagem urbana de forma progressiva pois adotam os preceitos das conhecidas LID, termo que se refere a Técnicas de Urbanização de Baixo Impacto e das SUDS, que são Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável.

Em contrapartida, as unidades de contenção a jusante conseguem controlar maiores volumes de deflúvio e assim se mostram mais eficazes como formas de intervenção na área urbana. Essas obras também apresentam como benefício o controle de qualidade de águas pluviais, pois conseguem reduzir concentrações de diversos parâmetros como fósforo, pesticidas, metais pesados e bactérias apenas através do processo físico de decantação no próprio reservatório (RAASCH, 1982 *apud* CANHOLI, 2014, p. 70).

Esses reservatórios podem ser de detenção, quando secam durante o período de estiagem e funcionam para reter água pluvial apenas do evento de chuva; ou de retenção, onde a lâmina d'água é permanente e o volume se altera quando ocorrem cheias. As lagoas de retenção possuem maior capacidade de tratamento de poluentes pois os sedimentos são acumulados no fundo, sendo dificilmente carregados durante as tormentas, o que pode ocorrer nos reservatórios

de detenção (USEPA, 2008). Entretanto, segundo os autores, nos dois tipos de reservatório, a vegetação é um agente removedor importante de poluentes, promovendo crescimento de microorganismos e a filtração. Esses tipos de reservatórios podem ser classificados como *Best Management Practices* (BMPs), nos Estados Unidos, ou *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), que são basicamente técnicas ou dispositivos desenvolvidos para garantir qualidade, quantidade e amenidade/biodiversidade de maneira sustentável (USA, 2010). O Quadro 2 mostra os principais benefícios de algumas dessas técnicas para conter quantitativamente e qualitativamente o escoamento superficial, com destaque para as bacias de detenção e retenção.

Quadro 2 - Processos de tratamento primários, secundários e adicionais garantidos por BMPs.

BMP	Processos Hidrológicos			Processos de Tratamento				
	Pico	Volume		Físico			Químico	Biológico
	Atenuação da Vazão	Infiltração	ET	Sedimentação	Filtração	Filtração grosseira	Adsorção/Absorção	Assimilação biológica
Bacias de detenção	P	A	A	P	N/A	S	S	A
Bacias de retenção	P	A	P	P	NA	NA	P	S
Alagadiços (wetlands)	P	A	P	P	S	S	P	P
Pavimentos permeáveis	P	P	NA	S	P	NA	NA	NA

* ET= Evapotranspiração; P = Primário; S = Secundário; A = Adicional; NA = Não aplicável.

Fonte: USA (2010)

Nesse contexto, programas de monitoramento podem ser utilizados no controle da qualidade desse tipo de estrutura, na manutenção da sua eficiência e no controle da poluição ambiental. A sua frequência é condicionada pelos seus objetivos, e assim, em bacias pequenas e médias, o monitoramento em tempo real entra como uma ferramenta de grande importância devido a ocorrência de eventos de cheias e mudança repentina das suas condições hidrológicas (RIGHETTO *et al.*, 2009).

USA (2002) menciona que o monitoramento do *runoff* urbano é um grande desafio pois as concentrações dos poluentes e a variabilidade espacial e temporal das precipitações variam irregularmente.

No Brasil esses reservatórios ainda são soluções adotadas por poucas cidades cujos objetivos se limitam apenas ao controle de enchentes e recreação/paisagismo, enquanto países desenvolvidos já as utilizam como forma de atenuar a poluição das águas pluviais e assegurar a qualidade das águas urbanas.

Porto (1995a) cita a relação custo/benefício aceitável, a viabilidade de manutenção a longo prazo e a associação com usos múltiplos - áreas de recreação, parques, e recursos paisagísticos – como objetivos paralelos de reservatórios de detenção e retenção, viabilizando ainda mais a sua empregabilidade no controle de enchentes.

3 METODOLOGIA

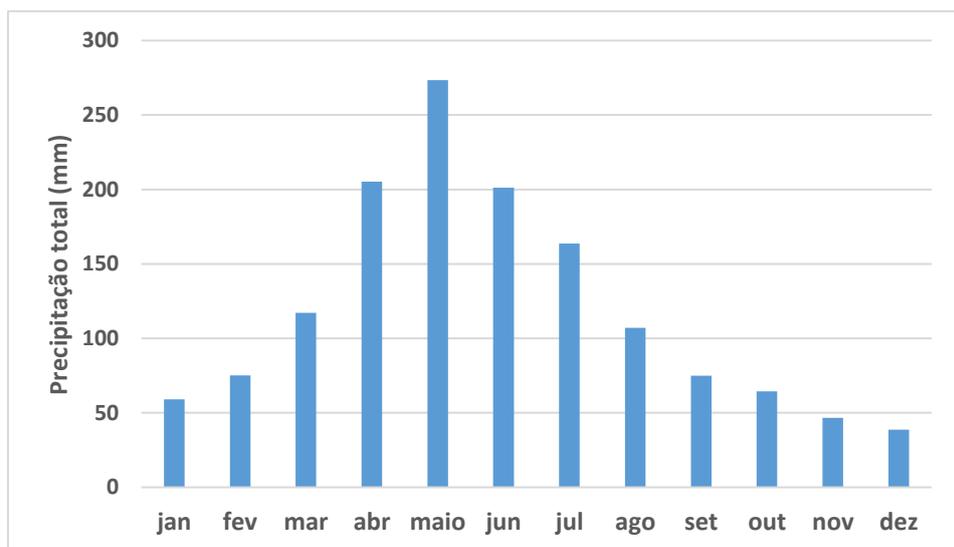
A metodologia do trabalho foi subdividida nos seguintes subtópicos: Área de estudo, Levantamento de dados, Determinação de cenários de urbanização e delimitação das áreas de contribuição, Levantamento de dados em campo, ABC 6 e elaboração dos hidrogramas, Pré-dimensionamento de volume de detenção na microbacia e Programa de monitoramento dos reservatórios.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Aracaju, com uma população de 571.149 habitantes em 2010, envolve uma área de 181,86 km², sendo limitado pelas coordenadas geográficas de 10°55'56'' de latitude Sul e 37°04'23'' de longitude Oeste (IBGE, 2011).

O clima local pode ser classificado como megatérmico subúmido úmido, apresentando regime pluviométrico caracterizado por um período seco de primavera-verão e chuvoso de outono-inverno (ARAÚJO, 2006). A Figura 8 sintetiza em um gráfico, os dados de precipitação mensais médias.

Figura 8 - Gráfico de precipitação mensal média elaborado a partir da série de dados de 1910 a 2015 do posto pluviométrico 83096 em Aracaju-SE.



Fonte: Autor

Araújo (2006) destaca ainda que a temperatura média de Aracaju se encontra entre 25 e 26°C e está relacionada a altos índices médios de umidade relativa do ar, devido à proximidade com grandes superfícies de evaporação como o Oceano Atlântico e os rios Sergipe e Vaza Barris.

O município está inserido na bacia sedimentar de Sergipe que avança sobre a plataforma continental, sendo que a sua porção Norte é influenciada principalmente pela Formação Barreiras, Terraços marinhos pleistocênicos e por Terraços marinhos holocênicos. Segundo Araújo (2006), os solos dessas unidades apresentam as seguintes características:

- Formação Barreiras: constituído por sedimentos terrígenos como cascalhos, areias finas e grossas e níveis de argila;
- Terraços Marinhos: apresentam areias litorâneas bem selecionadas;

No que tange ao relevo, duas unidades geomorfológicas são predominantes no município: a Planície Costeira e os tabuleiros costeiros. Enquanto a primeira constitui uma superfície relativamente plana, baixa e localizada entre os domínios oceânico e continental, a segunda, localizada mais na porção Norte do município, caracteriza-se por apresentar morros e colinas com formas mais arredondadas (ARAÚJO, 2006).

Em 2013, o órgão responsável pela drenagem pluvial da cidade de Aracaju, a EMURB, elaborou um mapeamento de pontos críticos de alagamentos na cidade (EMURB, 2013) como mostra o “Anexo A”. Foram identificadas 53 áreas vulneráveis ao acúmulo de águas pluviais durante eventos de precipitação intensos ou vulneráveis a desmoronamentos de encostas. Dentre elas, uma zona destaca-se notadamente em relação às demais devido a extensão da área afetada. Essa zona, localizada na região central de Aracaju, corresponde à Avenida Airton Teles, onde há um canal de águas pluviais, que direciona suas águas para o Rio Sergipe. Segundo o órgão, a rede de drenagem existente em toda a extensão da Avenida Dr. Airton Teles e no seu entorno, entre as Avenidas Coelho e Campos e Dr. Carlos Firpo, é insuficiente e necessita de um estudo com redirecionamento do canal.

Vale ressaltar que a microbacia está inserida na bacia hidrográfica do rio Sergipe. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** se refere ainda ao trecho canalizado da Avenida Dr. Airton Teles, e, a Figura 10 mostra o exutório localizado metros após o seu cruzamento com a Avenida Simeão Sobral.

Figura 9 - Canal da Avenida Dr. Airton Teles



Fonte: Autor

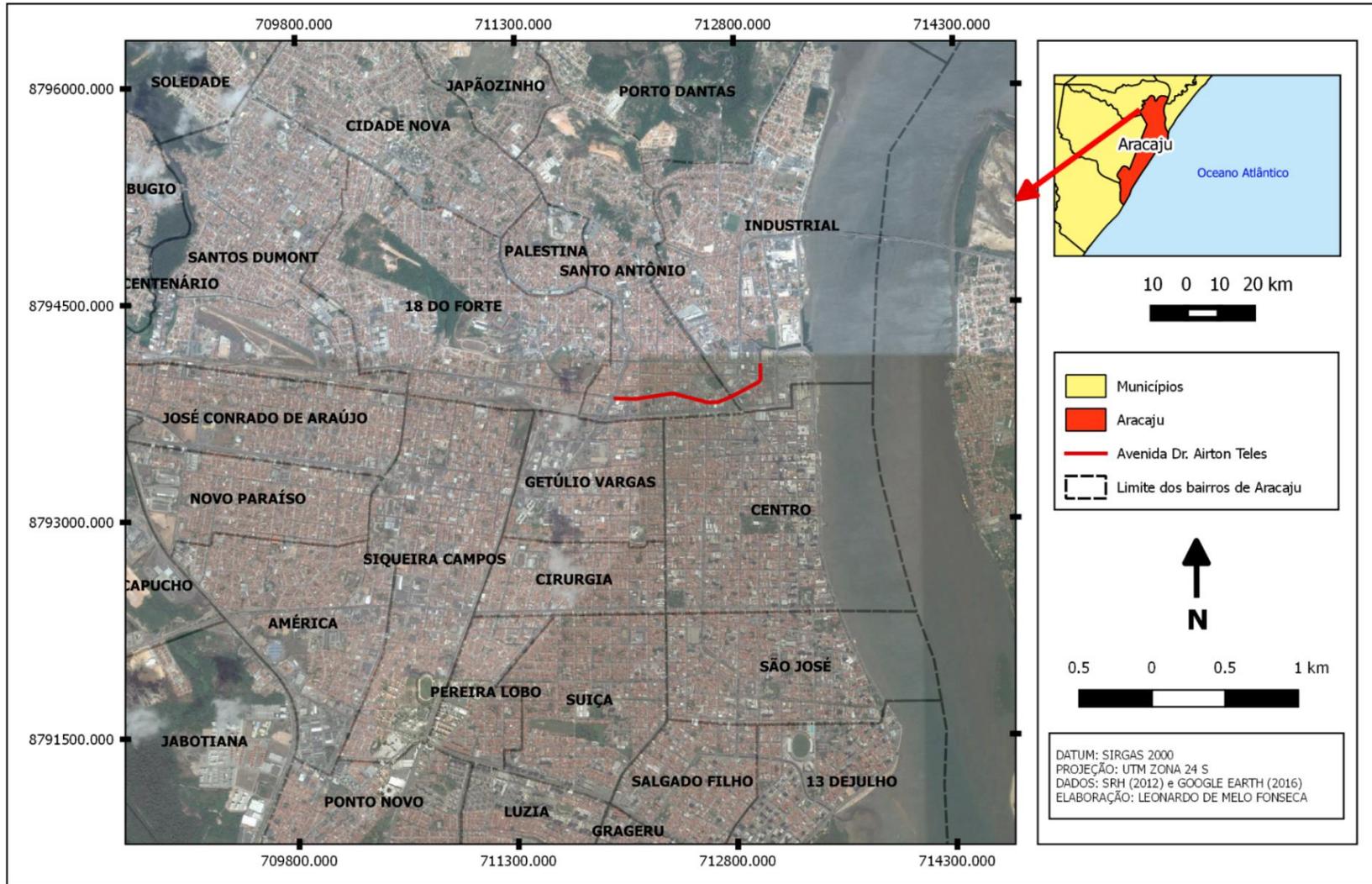
Figura 10 - Região de localização do exutório da microbacia urbana em estudo



Fonte: Autor

Dessa forma a área de estudo contempla a microbacia hidrográfica urbana cujo volume de água precipitado é direcionado para o atual canal da Avenida Dr. Airton Teles, destacado na Figura 11, onde haviam riachos, extintos pelo desenvolvimento urbano de Aracaju.

Figura 11 - Porção Norte da cidade de Aracaju onde está localizada a Avenida Dr. Airton Teles



FONTE: Autor

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

O estudo consistiu inicialmente numa pesquisa bibliográfica acerca da drenagem de águas pluviais na cidade de Aracaju, onde foram coletadas informações espaciais dos canais de macrodrenagem existentes na cidade de Aracaju. Essas informações foram disponibilizadas principalmente pela EMURB, órgão responsável pela implantação e recuperação da rede de drenagem da cidade. Através de consulta ao órgão, proveu-se ainda de um levantamento das condições dos pavimentos da cidade realizado em 2014 (SERGIPE, 2013).

Foram consultados ainda dados secundários da Prefeitura Municipal de Aracaju, da SEDEC e do IBGE. Como fonte de dados espaciais auxiliar, utilizou-se o Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe do ano de 2012, onde foram aproveitadas principalmente informações pedológicas e das bacias hidrográficas do estado de Sergipe.

Também foram utilizados dados espaciais de plataformas e bancos de dados online como o BDMEP e o domínio TOPODATA, este último onde foi baixado um Modelo Digital de Elevação (MDE) do município de Aracaju.

Os modelos do TOPODATA são dados processados de produtos originais da NASA, que sofreram correções e refinamento, principalmente quanto ao nível de detalhamento das células espaciais, com 30 m de resolução espacial (MARQUES *et al.*, 2011). Segundo os autores, o produto do TOPODATA quando comparado com outros 2 MDEs, identifica com mais precisão os segmentos da drenagem de uma bacia hidrográfica. O Quadro 3 mostra as características da imagem de radar adquirida.

Quadro 3 - Características do MDE utilizado para extração das curvas altimétricas.

Origem da Imagem	Imagem SRTM processada (Projeto TOPODATA)
Datum de origem	WGS84
Identificação da Folha	10S375ZN
Resolução Espacial da imagem	30 m

Fonte: INPE (2016)

Como forma de auxiliar a análise temporal e espacial dos dados hidrológicos e criar um banco de dados cartográficos, foi essencial trabalhar os dados em ambiente SIG. Nesse sentido, foi utilizado o *software* gratuito QuantumGIS versão 2.16.2.

3.3 DETERMINAÇÃO DE CENÁRIOS DE URBANIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO

Lavagnoli (2014) avaliou o impacto da evolução urbanística em uma bacia hidrográfica no município de São Gabriel da Palha - ES considerando cenários antigos, atual e futuro de urbanização. No presente estudo também foram escolhidos 3 cenários temporais distintos. O Quadro 4, logo abaixo, resume as informações de cada um deles.

Quadro 4 - Descrição dos cenários de urbanização da microbacia

Cenário	Descrição
Pré-urbanização (C1)	Situação no passado com mínimo grau de interferência antrópica
Região urbanizada (C2)	Período anterior ao início da implantação da pavimentação asfáltica e dos canais de macrodrenagem do centro de Aracaju (Início da década de 70)
Região intensamente urbanizada (C3)	Condições atuais

Fonte: Autor

O cenário C1 compreendeu a região com pouca ocupação urbana, cobertura original do solo, vegetação nativa e riachos na sua maioria ainda não canalizados num momento temporal entre a virada dos séculos XIX e XX.

O início da pavimentação asfáltica nas ruas do centro de Aracaju, observado em imagens históricas da prefeitura municipal da cidade entre os anos de 1972 e 1973 determinaram a escolha do cenário C2 no início da década de 70 (ARACAJU, 197? *apud* SOUSA, 2016). Além disso, foi na década de 70 que os primeiros canais começaram a ser implantados na região, a exemplo dos canais da Avenida Dr. Airton Teles e da avenida Gentil Tavares, construídos na

gestão do prefeito Cleovansóstenes Pereira de Aguiar, entre 1971 e 1975, segundo informações levantadas no órgão. Já o cenário C3 representa o panorama atual de ocupação urbana em Aracaju.

Para delimitar a bacia de drenagem natural (Cenário C1) dos canais da Avenida Dr. Airton Teles, foi utilizado o conjunto de ferramentas TAUDM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) acopladas ao SIG utilizado, e uma camada de curvas isoípsas geradas através do MDE. A ferramenta TAUDM, utilizada por Carvalho (2007) na delimitação de sub-bacias do alto curso do rio Preto, se baseia no uso das direções de fluxo da drenagem permitindo demarcar a área de contribuição da microbacia hidrográfica e das suas sub-bacias.

O processo foi realizado de forma semi-automática, sendo importante ressaltar que manualmente realizou-se a determinação da localização do exultório da bacia e correções na área delimitada com auxílio das curvas de nível.

A delimitação elaborada para a microbacia urbana foi cruzada com os dados espaciais de macrodrenagem com o intuito de verificar possíveis mudanças no escoamento em subáreas da região. Dessa forma, foram realizadas novas subdivisões e correções nos padrões de drenagem para os cenários de pré e pós-urbanização, levando em consideração também o período em que os canais pluviais foram construídos.

3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

Foram realizadas visitas à campo no intuito de caracterizar e determinar as dimensões reais das seções dos canais devido à escassez de informações nos órgãos públicos consultados. Também houve consulta à população local quanto aos aspectos urbanísticos da região nas décadas de 70 e 80, principalmente quanto ao tipo de pavimento utilizado nas vias e a existência dos elementos de macrodrenagem na década de 70, período relativo ao cenário C2.

3.5 ABC 6 E ELABORAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

Os hidrogramas da bacia e de cada subbacia em todos os 3 cenários distintos foram construídos através do *software* ABC6 que emprega modelos conhecidos de precipitação/vazão. As redes de fluxo construídas através do programa seguiram o esqueleto de drenagem das subbacias delimitadas após as correções para cenário, onde os nós representaram o início e fim de cada subbacia, e o último nó representou o exutório da microbacia referente à drenagem da Avenida Dr. Airton Teles.

3.5.1 Intervalo de discretização dos dados

Diaz e Tucci (1987) *apud* Tucci (2003) p. 197 obtiveram tempos de pico entre 10 e 60 min para bacias urbanas brasileiras entre 2,51 e 10 km² em Porto Alegre. Para o SCS (1986), o tempo de pico equivale a 0,6 do tempo de concentração, assim a faixa de tempo de concentração dessas bacias variou entre 17 e 100 min. O software sugere que o tempo de discretização deve representar 1/10 do tempo de concentração calculado. Admitiu-se assim uma discretização entre 5 e 10 min, baseando-se em um décimo dos valores médios e máximo de tempo de concentração estimados para as bacias urbanas da cidade de Porto Alegre.

3.5.2 Período de retorno da precipitação

Segundo Tucci e Bertoni (2003) *apud* Tucci (2005, p. 54), o período de retorno está relacionado com os sistemas urbanos avaliados, como pode ser visto no

Quadro 5.

Quadro 5 - Período de retorno utilizados para sistemas urbanos.

Sistema	Característica	Intervalo (anos)	Valor frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2-5	2
	Comercial	2-5	5
	Áreas de prédios públicos	2-5	5
	Aeroporto	5-10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5-10	10
Macro-drenagem		10-25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5-100	100*

Fonte: TUCCI E BERTONI (2003) *apud* TUCCI (2005, p.54)

Admitiu-se o valor do período de retorno igual a 10 anos, que se encontra dentro da faixa estipulada pelo autor.

3.5.3 Área total, impermeável e diretamente conectada

A área de cada subbacia hidrográfica foi determinada através do banco de dados georreferenciados no SIG. Para determinar o percentual de área impermeável e da área diretamente conectada ao sistema de drenagem urbano foram realizadas diferentes considerações para cada cenário.

Relatos geográficos e urbanísticos encontrados em Porto (1991, 2011) auxiliaram na estimativa desses parâmetros para o Cenário C1, já que não há nenhum tipo de informação espacial detalhada e georreferenciada sobre o uso do solo no período em questão.

Já para os cenários C2 e C3 foi realizada a classificação visual respectivamente a partir de uma ortofoto aérea de 1970 disponível no “Anexo A” (SERGIPE, s. d.) e de uma imagem de satélite de 2015, visualizada no “Anexo B” (GOOGLE EARTH, 2016). As duas imagens foram previamente georreferenciadas com base no Google Earth e trabalhadas em ambiente SIG.

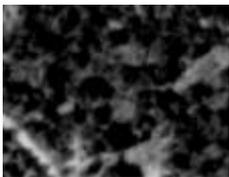
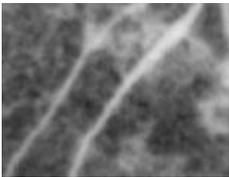
Devido às limitações do método utilizado, associados principalmente com a resolução espacial das imagens e a técnica utilizada para tipificar as feições - método visual - a

classificação dos polígonos levou em conta apenas 3 tipos de feições para o uso do solo urbano: Área impermeável, Vegetação e Solo exposto. REIS *et al.* (2011) utilizou a mesma tipologia de classificação no seu estudo, decompondo ainda a feição “área impermeável” em: área privada e área pública. Vale ressaltar que as feições foram reconhecidas através da cor e da textura dos elementos espaciais.

Com o levantamento das vias realizado pela EMURB em 2013, foi possível introduzir a subfeição “vias” na classificação dos cenários C2 e C3 através de operações vetoriais no ambiente SIG. Foi utilizada a ferramenta buffer com um raio de 3,5 m nas vias mapeadas em forma de linha pelos dados do levantamento, para representar toda a área desse atributo no mapa de uso de solo. Vale ressaltar que no Cenário C2, muitas vias ainda não tinham sido implantadas, necessitando-se assim de uma etapa de correção do mapeamento.

No Quadro 6 verifica-se amostras e os elementos considerados em cada uma das tipologias escolhidas de uso do solo para os cenários C2 e C3.

Quadro 6 - Feições e suas considerações no processo de classificação visual da imagem aérea para o cenário C2 e da imagem de satélite para o cenário C3.

Feição	Considerações	Amostra C2	Amostra C3
Vegetação	Áreas cobertas por vegetação rasteira ou vegetação mais densa		
Solo exposto	Áreas cobertas com solo ou gramíneas		
Área Impermeável (AI)	Prédios, canais, calçadas, telhados, praças, vias, entre outros elementos urbanos		

Fonte: Autor

3.5.4 Tempo de concentração

O cálculo dessa variável foi realizado através do método cinemático devido à heterogeneidade do escoamento no ambiente urbano que se dá sobre diferentes meios. Tucci (2005) recomenda a utilização do método cinemático, pois ele trabalha com parâmetros que representam os aspectos fisiográficos da bacia. A eq. (9) mostra o cálculo para o tempo de concentração, considerando os trechos de vertentes ou escoamento em superfície e também os trechos canalizados.

$$t_c = t_s + t_q \quad (9)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração;

t_s = tempo de escoamento em superfície (h);

t_q = tempo de escoamento em canais rasos ou canalizações (h);

Os trechos foram divididos de acordo com a subbacia, as características do escoamento e os aspectos do canal. Considerou-se no cálculo do tempo de concentração da bacia os n trechos de escoamento canalizados ou não canalizados, conforme a eq. (10).

$$t_c = \sum t_{c_n} \quad (10)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração da bacia;

t_{c_n} = tempo de concentração por trecho.

A rota de trechos com maior tempo de concentração representou toda a área de contribuição de cada subbacia no cálculo do tempo de concentração total. Cada parcela do

tempo de concentração pôde ser obtida através da simples relação cinemática expressa na eq. (11).

$$t_c = \frac{L}{60.v} \quad (11)$$

Onde:

L = comprimento do talvegue ou trecho canalizado (m);

t_c = tempo de concentração do trecho (min);

v = velocidade do escoamento (m/s).

Vale ressaltar, que para todos os canais do cenário de pré-urbanização (C1) e do cenário C2, adotou-se o valor médio de velocidade baseado nas faixas do Quadro 7, que variam segundo a declividade do terreno e o tipo de escoamento ou uso do solo.

Quadro 7 - Velocidades médias de escoamento superficial numa bacia hidrográfica.

Tipo de escoamento	Declividade do Terreno (%)			
	0 – 3	4 – 7	8 – 11	12 – 15
Escoamento não canalizado				
Bosques e Florestas	0 – 0,5	0,5 – 0,8	0,8 – 1,0	> 1,0
Pastos	0 – 0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,3	> 1,3
Terrenos cultivados	0 – 0,9	0,9 – 1,4	1,4 – 1,7	> 1,7
Terrenos urbanizados	0 – 2,6	2,6 – 4,1	4,1 – 5,2	> 5,2
Escoamento em canal				
Canal natural mal definido	0 – 0,6	0,6 – 1,2	1,2 – 2,1	> 2,1
Canal bem definido	Utilizar equações de regime uniforme			

Fonte: CHOW *et al.* (1988)

Como também foi explícito na tabela acima, a velocidade nos trechos em canais com seções bem definidas nos cenários C2 e C3 deve ser determinada através da equação de Manning, eq. (12), que considera um regime uniforme.

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{S} \quad (12)$$

Onde:

v = velocidade (m/s)

n = coeficiente de rugosidade de Manning (s/m^{1/3});

R_h = raio hidráulico (m);

S = declividade média (m/m).

O Quadro 8 expõe valores da constante n para os tipos de canais mais frequentes para as condições urbanas brasileiras.

Quadro 8 - Faixas de valores do coeficiente de Manning para escoamento em canais mais comuns no Brasil

Tipo de canal	n de Manning		
	mínimo	médio	máximo
Condutos parcialmente cheios			
Concreto			
Galeria reta e livre de detritos	0,010	0,011	0,013
Galeria com curvas, conexões e poucos detritos	0,011	0,013	0,014
Tubo de concreto com poços de visita, juntas, etc	0,013	0,015	0,017
Canais a céu aberto			
Concreto			
Acabamento liso	0,013	0,015	0,016
Sem acabamento	0,014	0,017	0,020
Acabado (margens) com cascalho (fundo)	0,015	0,017	0,020
Pedra argamassada			
Pedras argamassadas nas margens e fundo em concreto acabado	0,017	0,020	0,024
Pedras argamassadas nas margens e fundo em cascalho	0,020	0,023	0,026

Fonte: CANHOLI (2014)

Nos trechos de vertente e escoamento mal definido, utilizou-se da sua simplificação, mostrada na eq. (13), onde k representa uma constante que depende do meio onde ocorre o escoamento.

$$v = k \cdot \sqrt{S} \quad (13)$$

Onde:

k = constante que depende do uso da terra (m/s);

S = declividade média (m/m).

Em relação aos cenários de pós-urbanização (C2 e C3), os trechos de escoamento mal definidos compreenderam o traçado das próprias vias urbanas, representando as canaletas e sarjetas, devido a falta de dados de microdrenagem. Nesse sentido, foram cruzados dados planialtimétricos das vias urbanas de Aracaju com imagens de satélite e o mapa ipsométrico gerado para determinar o direcionamento dos escoamentos em todas as subbacias e assim o comprimento das vertentes urbanas.

McCuen (1998) *apud* Thomaz (2011) apresenta valores para os coeficientes de Manning (k) para alguns tipos de uso do solo ou regime de escoamento no Quadro 9.

Quadro 9 - Valores para o coeficiente k segundo o tipo de uso do solo

Uso do solo/regime de escoamento	Valor de k
Floresta	
Com vegetação rasteira densa	0,22
Com pouca vegetação rasteira	0,41
Com bastante vegetação rasteira	0,77
Agricultura	
Pastagens	0,41
Sedimentos aluvionais	3,12
Área pavimentada com escoamento superficial (opção A)	6,31
Área pavimentada com escoamento superficial (opção B)	6,20
Canaleta pavimentada	14,09

Fonte: MCCUEN (1998) *apud* THOMAZ (2011)

A eq. (14) mostra o cálculo realizado para determinação do raio hidráulico, essencial para o cálculo da velocidade no conduto aberto.

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (14)$$

Onde:

R_h = raio hidráulico (m);

A_m = área molhada da seção do canal (m²);

P_m = perímetro molhado (m);

Para o cálculo do raio hidráulico o nível da água no conduto aberto foi considerado no seu patamar mais alto, para simular condições mais pessimistas. A declividade média dos trechos de canal e das vias foram calculados genericamente através da eq. (15).

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (15)$$

Onde:

S = declividade média (m/m);

ΔH = desnível do trecho (m);

L = comprimento do talvegue ou trecho canalizado (m);

As cotas dos pontos iniciais e finais dos trechos em questão foram obtidos através do mapa ipsométrico gerado. Já as cotas dos canais foram extraídas do mapa altimétrico de Aracaju que contém pontos cotados no fundo dos canais. Nos trechos sem informação de cotas, foram utilizadas declividades médias do trecho total.

Vale ressaltar que não foi considerada a intrusão de água salgada proveniente do estuário do rio Sergipe, apesar da influência da maré nas cotas mais baixas do canal da Avenida Airton Teles.

3.5.5 Curvas IDF

O *software* apresenta um banco de dados com curvas de intensidade-duração-frequência para diversas cidades brasileiras. Foi adotada a curva IDF da cidade de Aracaju proposto por AGRIAMBI (2012).

3.5.6 Duração da chuva

Segundo Zahed Filho e Marcellini (1995), os valores de chuva crítica adotados para bacias pequenas geralmente são iguais ao tempo de concentração da bacia. Entretanto, Marcellini (1994) *apud* Zahed Filho e Marcellini (1995, p. 73) mostra que os gradientes de vazão de pico e do volume do hidrograma superficial direto variam em função da duração da chuva máxima de projeto.

A autora estudou essa variação numa bacia de 60 km² e 4 horas de tempo de concentração, utilizando os métodos de Green-Ampt para a determinação da chuva efetiva, e de Clark, para construção do hidrograma de projeto, e mostrou que para chuvas com duração superior a 8 horas, as variações verificadas nas vazões de pico são inferiores as precisões possíveis de serem obtidas em medições de vazões *in situ*. Desta forma, adotou-se um valor intermediário de 6 horas de duração de chuva.

3.5.7 Precipitação efetiva

A chuva de projeto foi determinada através do método do SCS (1986) disponível no *software*. O número de curva (CN), que representa a capacidade máxima de infiltração da bacia, foi determinado de forma empírica através de tabelas disponíveis em função do uso e ocupação do solo, do tipo de solo e das condições de umidade do solo. A heterogeneidade dessas variáveis em cada subbacia exigiu o cálculo de um valor médio para o CN utilizando a ponderação das

áreas, segundo a eq. (16).

$$CN_{m\u00e9dio} = \frac{\sum A_n * CN_n}{A_T} \quad (16)$$

Onde:

A_n = Sub\u00e1rea correspondente ao uso do solo n (km²);

A_T = \u00c1rea total (km²);

CN_n = N\u00famero de curva correspondente ao uso do solo n;

O Quadro 10 refere-se \u00e0s caracter\u00edsticas de diferentes tipos de solo selecionados e agrupados pelo SCS para o c\u00e1lculo do CN m\u00e9dio, principalmente em \u00e1reas perme\u00e1veis.

Quadro 10 - Tabela com os grupos de solo e suas caracter\u00edsticas que influenciam na determina\u00e7\u00e3o do CN.

Grupo Hidrol\u00f3gico do Solo	Descri\u00e7\u00e3o do Solo	Capacidade de Infiltra\u00e7\u00e3o (cm/h)
A	Areias e cascalhos profundos (h > 1,5 m), muito perme\u00e1veis, com alta taxa de infiltra\u00e7\u00e3o, mesmo quando saturados. Teor de argila at\u00e9 10%.	1,20 – 0,80
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos (h < 1,5 m) e perme\u00e1veis. Teor de argila 10% - 20%.	0,80 – 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas subsuperficiais que impedem o fluxo descendente da \u00e1gua, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%)	0,40 – 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com n\u00edvel fre\u00e1tico elevado, ou solos com camadas argilosas pr\u00f3ximas a superf\u00edcie, ou solos rasos sobre camadas imperme\u00e1veis	0,15 – 0,00

Fonte: CANHOLI (2014)

A caracteriza\u00e7\u00e3o dos solos da regi\u00e3o de estudo foi baseada em um levantamento pedol\u00f3gico realizado por Jacomine *et al.* (1975), na qual foi observado o mapa dispon\u00edvel no

atlas de recursos hídricos de Sergipe (2012), baseado nos resultados dos próprios autores, e foram selecionados perfis de solo do mesmo tipo, formação geológica semelhante e com a localização mais próxima da área de estudo. Para classificar os solos segundo o SCS (1986) foram comparadas as características dos grupamentos de solo da tabela com a composição granulométrica, os teores de argila, e a profundidades das camadas de cada horizonte para os perfis de solo selecionados, que podem ser visualizados no “Anexo D”.

Foram identificados apenas 2 tipos de solo na região de estudo delimitada: o Podzol (Espodossolo) e o Podzólico Vermelho Amarelo (Argissolo).

Devido ao alto teor de argila na sua composição granulométrica (> 30 %) em todos os horizontes distintos e a característica de moderado a imperfeitamente drenado, destacado pelos autores, o solo classificado como Podzólico Vermelho Amarelo (Perfil 1) foi inserido na categoria D, segundo a classificação do SCS (1986).

Já o Podzol (Perfil 2), por apresentar fração de argila inferior a 10% nos 150 cm mais rasos, foi classificado como tipo A, ou seja, um solo com alta taxa de infiltração.

Apesar da presença do solo tipo D na microbacia, foi considerado somente o solo do tipo A na determinação do CN médio de toda a região da microbacia, devido a sua contribuição relativa maior na área total. Essa consideração promoveu a simplificação dos cálculos de ponderação, visto que também há heterogeneidade no uso do solo em cada subbacia.

SCS (1986) e Tucci (2005) propõem ainda o

Quadro *11* e a Quadro 12 com valores de CN para diferentes tipos de uso do solo, respectivamente para áreas urbanas e áreas rurais.

Quadro 11 - Estimativa dos valores de CN para áreas urbanas (Condição II de umidade).

Tipo de solo/Ocupação e condição hidrológica	Área impermeável (%)	Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Espaço aberto (parques, estacionamentos, jardins, etc)					
Condições ruins (gramados < 50%)		68	79	86	89
Condições normais (gramados de 50% a 75%)		49	69	79	84
Condições excelentes (gramados > 75%)		39	61	74	80
Arruamentos e estradas					
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Asfaltadas e com sistema de drenagem		98	98	98	98
Asfaltadas e sem sistema de drenagem		83	89	92	93
Cascalho, paralelepípedo		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89
Distritos urbanos					
Áreas comerciais	85	89	92	94	95
Áreas industriais	72	81	88	91	93
Distritos residenciais (em função da parte impermeável)					
Área residencial Tipo 1 (< 500 m ²)	65	77	85	90	92
Área residencial Tipo 2 (1000 m ²)	38	61	75	83	87
Área residencial Tipo 3 (1300 m ²)	25	54	70	80	85
Área residencial Tipo 4 (2000 m ²)	20	51	68	79	84
Área residencial Tipo 5 (4000 m ²)	12	45	65	77	82

Fonte: SCS (1986); TUCCI (2005)

Quadro 12 - Valores de CN para áreas rurais e naturais (Condição II de umidade)

Tipo de cobertura do solo	Superfície	Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Pastagens em curva de nível	Pobres	47	67	81	88
	Normais	25	59	75	83
	Boas	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	Normais	56	75	86	91
Estradas de Terra	Ruim	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: TUCCI (2005)

Para o cenário C1, os valores referentes ao uso do solo foram totalmente estimados com base nos relatos de Porto (1991; 2011). Segundo o autor, as ruas de Aracaju só começaram a ser calçadas com paralelepípedos no ano de 1919, dessa forma, como a feição via não influenciaria de maneira forte os valores de CN, para fins de cálculo, considerou-se genericamente apenas as feições: superfícies impermeáveis, representando os lotes residenciais de 1000 m² (CN = 61); e a feição superfície permeável, considerando condições originais de vegetação nativa esparsa (CN = 46).

Considerou-se que as subbacias influenciadas pelo centro apresentavam área impermeável relativa considerável, enquanto todas as outras subbacias ainda mantinham quase que toda a superfície original. O Quadro 13 mostra os valores de área permeável e impermeável considerados para o cenário.

Quadro 13 - Estimativas da área impermeável do Cenário C1

Subbacia	Área Permeável (%)	Área Impermeável (%)
C1_SB01	90	10
C1_SB02	90	10
C1_SB03	90	10
C1_SB04	90	10
C1_SB05	90	10
C1_SB06	90	10
C1_SB07	80	20
C1_SB08	50	50

Fonte: Autor

A determinação dos tipos de ocupação/uso do solo nos cenários C2 e C3 e suas percentagens de contribuição foi realizada através da classificação visual da imagem aérea e de satélite. Para a subfeição “lotes”, deteu-se ainda aos tipos de ocupação dos bairros que estão inseridos nas subbacias através do levantamento proposto por Fonseca *et al.* (2011), no “Anexo E”, que mostra os percentuais por tipo de ocupação em todos os bairros de Aracaju. Esses dados foram utilizados para o cenário atual C3. Em relação ao cenário C2, utilizou-se como zona comercial/serviços apenas o bairro Centro, pois segundo Pinheiro e Santos (2012), foi apenas a partir da década de 70, que a malha urbana de Aracaju foi ampliada e começaram a surgir subcentros em outras localidades.

Com a diferenciação dos tipos de lotes na área de estudo foi possível assim fazer a equivalência de todas as feições determinadas para os cenários C2 e C3 com os valores de CN por feição, levando em conta o solo local tipo A, como mostra o Quadro 14.

Quadro 14 - Equivalência das feições dos cenários C2 e C3 segundo SCS (1986)

Uso do Solo determinado		Equivalência de uso do solo com base nos dados de SCS (1986)	Valor de CN (Solo tipo A)	
Vegetação		Espaço aberto com condições excelentes	39	
Solo Exposto		Espaço aberto com cond. Ruins	68	
Área impermeável	Lote	Residencial	Área residencial Tipo 1 (lote < 500 m ²)	77
		Comercial/Serviços	Área comercial	85
	Vias	Asfalto	Área impermeável – Ruas pavimentadas com sistema de drenagem	98
		Paralelo	Área impermeável - Paralelepípedo	76
		Piçarra	Área impermeável - Terra	72

Fonte: Autor

Dessa forma, utilizou-se o método da ponderação para calcular o CN médio de cada subbacia para os 3 cenários.

A condição de umidade do solo também influencia no número de curva final e dessa forma SCS (1986) propõe os seguintes tipos de pré-condições para o solo, como mostra o Quadro 15.

Quadro 15 - Condições de umidade do solo no método SCS

Condição do Solo	Situação do Solo	Chuva ocorrida nos 5 dias anteriores à de projeto (mm)
I	Solo seco	0 – 35
II	Condições médias do solo	35 – 52,5
III	Solo saturado.	> 52,5

Fonte: SCS (1986)

Para mudança de Beskow *et al.* (2009) perceberam em seu estudo que a condição de umidade III no método do SCS (1986) superestima os valores de escoamento superficial, dessa

forma não foram aplicadas conversões dos valores de CN baseados nas pré-condições de umidade.

3.5.8 Hidrogramas

Os hidrogramas referentes a todos os trechos entre as subbacias foram construídos através do método de Santa Bárbara disponível no ABC 6. As vazões e os tempos de pico destacados nos hidrogramas gerados, do início e fim do trecho da avenida Dr. Airton Teles foram assim comparados nos 3 cenários.

3.6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE VOLUME DE DETENÇÃO NA MICROBACIA

Utilizou-se o método da perda da reservação natural descrito em CANHOLI (2014) para dimensionamento do reservatório de detenção. Segundo o método, admite-se que o volume do reservatório de amortecimento é no mínimo igual ao volume perdido de reservação devido a urbanização. A eq. (17) mostra a idéia do método.

$$\frac{V_s}{V_a} = 1 - \frac{Q_b}{Q_a} \quad (17)$$

Onde:

V_s = Volume de reservação (m³);

V_a = Volume de escoamento no cenário de pós-urbanização;

Q_b = Vazão de pré-urbanização;

Q_a = Vazão de pós-urbanização;

O valor de V_a foi estipulado com base na área do hidrograma de cheia do período de pós-urbanização, pelo método de diferenças finitas, utilizando o somatório das vazões e o intervalo de discretização utilizado no hidrograma.

3.7 PROGRAMA DE MONITORAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

Os reservatórios de retenção também foram pensados no intuito de controlar a qualidade da água pluvial que escoam das superfícies urbanas. Segundo USA (2002), o estabelecimento de um programa de monitoramento de BMPs não é simples e deve levar em consideração diversos critérios. No estudo, considerou-se a montagem de um programa simplificado de monitoramento da qualidade da água pluvial no reservatório. Foram considerados apenas: o objetivo principal, a especificação dos pontos de amostragem, os parâmetros considerados no monitoramento e a periodicidade das coletas realizadas. Devido à ausência de dados qualitativos do *runoff* urbano na cidade de Aracaju, as considerações foram baseadas em dados da literatura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ALTERAÇÕES NA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DA MICROBACIA

A delimitação semi-automática na Bacia de captação da Av. Dr. Airton Teles foi realizada para 3 cenários diferentes, sendo o cenário C1 a área na sua maioria ainda coberta por vegetação natural, o cenário C2 contemplando a área na década de 70 com a mancha urbana em evolução, e, o cenário C3 de pós-urbanização intensa. Foram observadas mudanças significativas no padrão de drenagem da microbacia na escala temporal representada, gerando consequentemente alterações no porte da área de contribuição em cada um deles. A Tabela 1 mostra a área total e das subbacias em todos os cenários analisados.

Tabela 1 - Área da BCAT

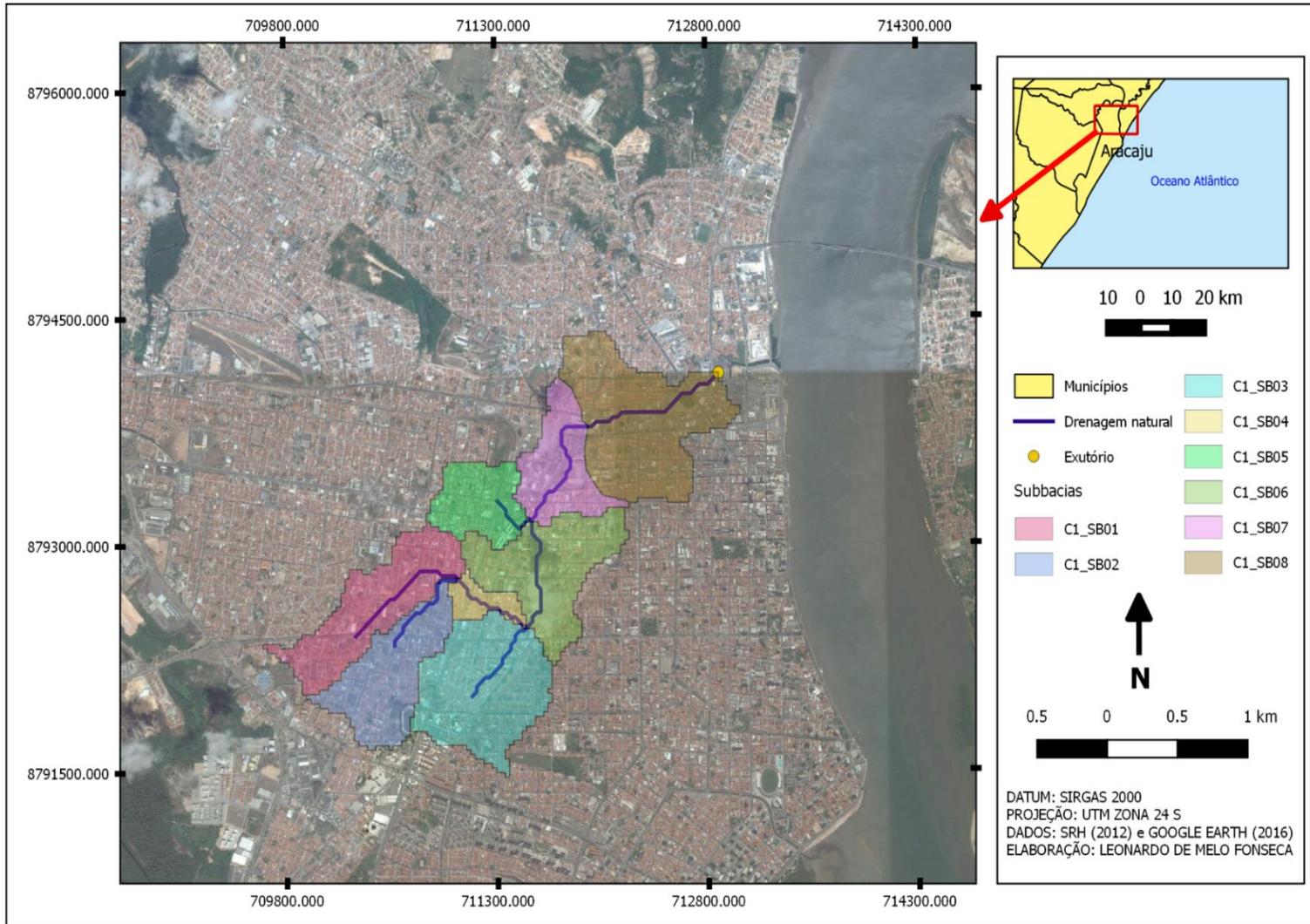
CENÁRIO C1		CENÁRIO C2		CENÁRIO C3	
Subbacia	Área (km ²)	Subbacia	Área (km ²)	Subbacia	Área (km ²)
C1_SB01	0,56	C2_SB01	3,11	C3_SB01	0,50
C1_SB02	0,49	C2_SB02	0,30	C3_SB02	0,66
C1_SB03	0,71	C2_SB03	0,11	C3_SB03	0,26
C1_SB04	0,11	C2_SB04	0,79	C3_SB04	0,13
C1_SB05	0,30	C2_SB05	0,71	C3_SB05	0,99
C1_SB06	0,58	TOTAL	5,02	C3_SB06	1,25
C1_SB07	0,37			C3_SB07	0,71
C1_SB08	0,83			TOTAL	4,50
TOTAL	3,95				

Fonte: Autor

Enquanto no cenário C1 a delimitação gerou 8 subbacias, no cenário C3, a bacia de captação da Av. Dr. Airton Teles (BCAT) foi subdividida em 7 subáreas. Vale ressaltar que no cenário C1, as subbacias C1_SB07 e C1_SB08 representavam uma só unidade, porém foram segmentadas no intuito de comparar as mudanças no escoamento superficial entre os trechos inicial e final da avenida Dr. Airton Teles. O “apêndice A” mostra o mapa com a delimitação original da bacia e as curvas de nível da área.

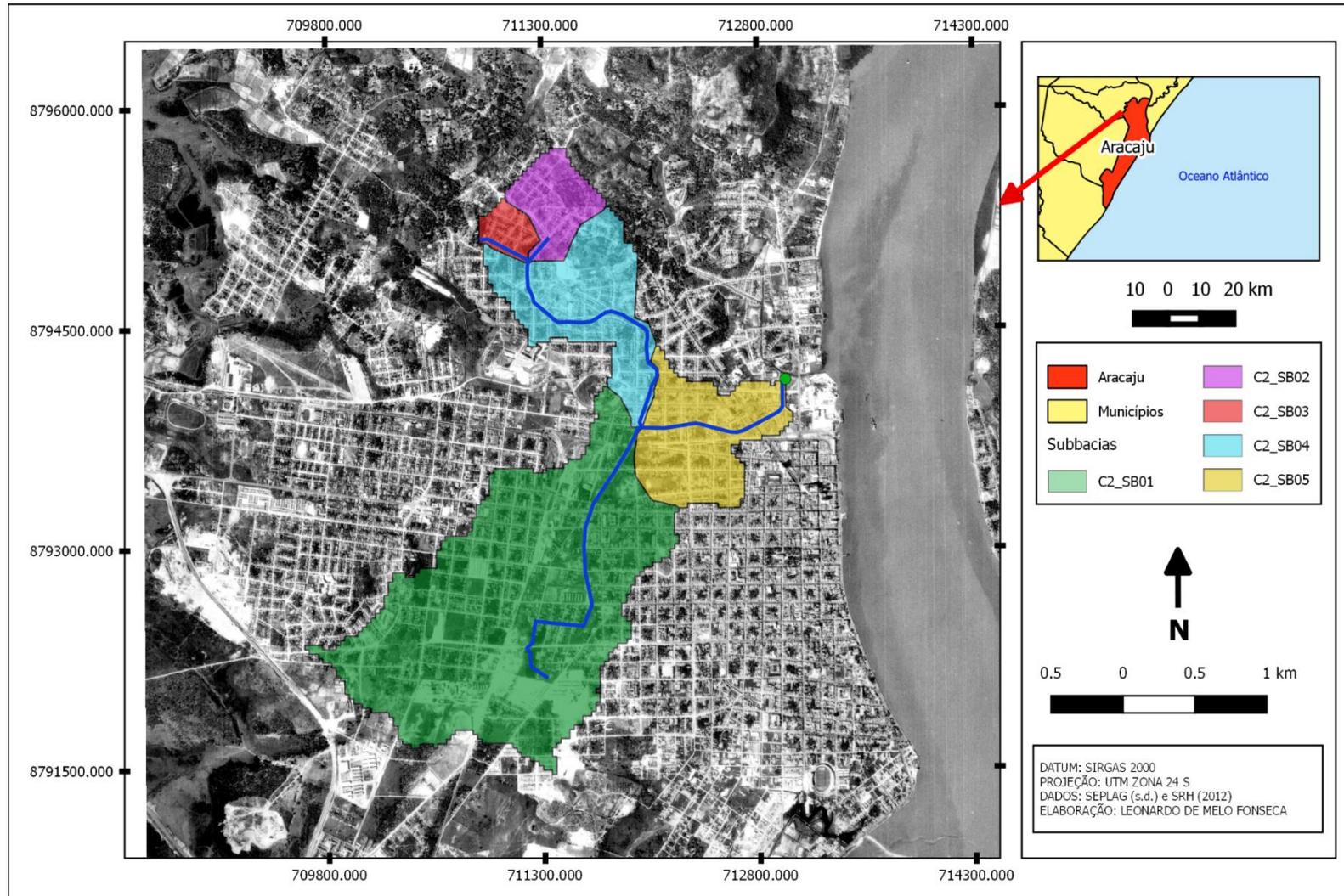
A Figura 12, a Figura 13 e a Figura 14 mostram a delimitação da BCAT respectivamente nos cenários C1, C2 e C3, incluindo também a divisão em subbacias.

Figura 12 - Delimitação da BCAT considerando o cenário C1 com sobreposição em imagem de satélite recente



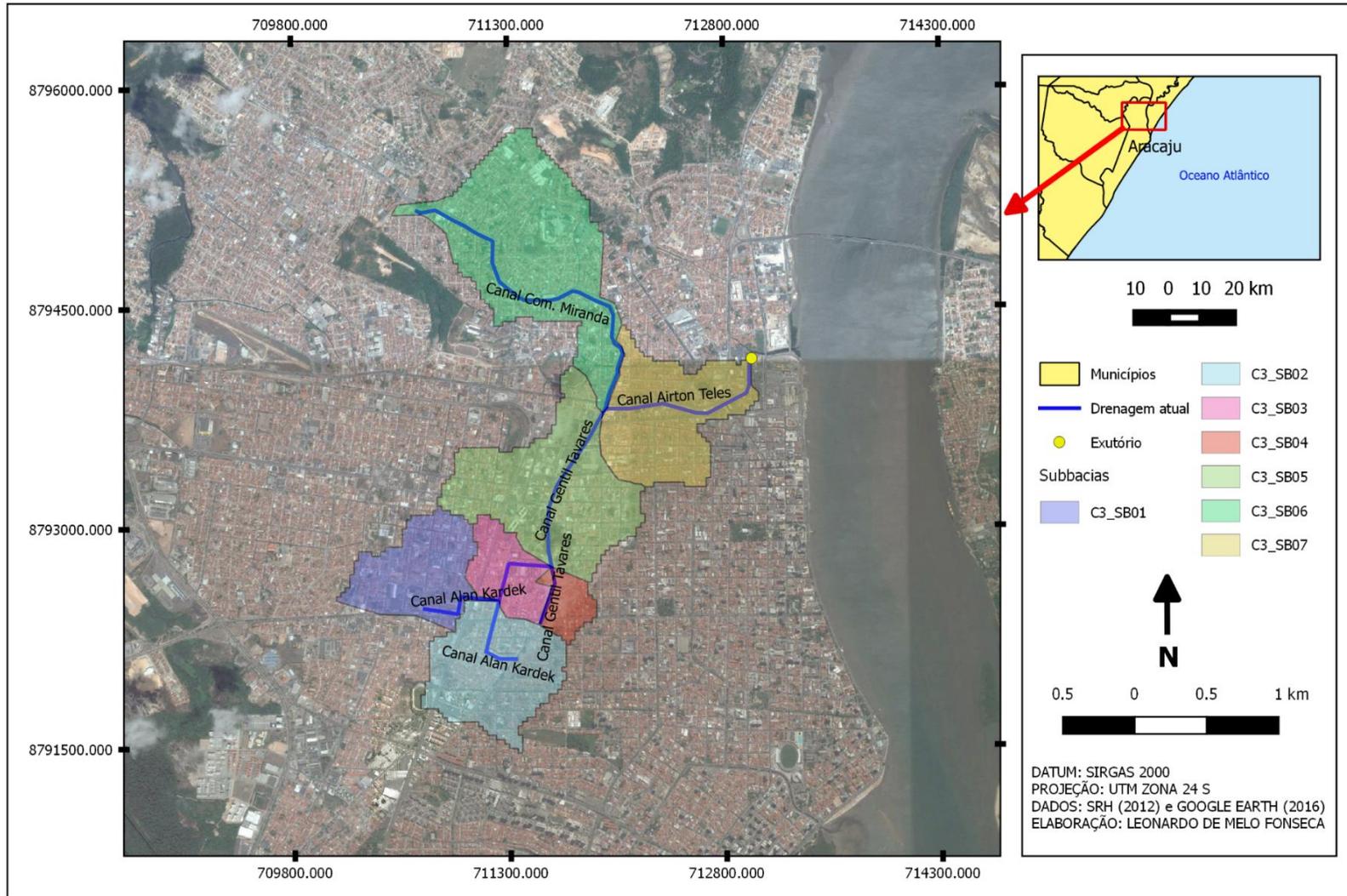
Fonte: Autor

Figura 13 - Delimitação da Área de drenagem da Av. Dr. Airton Teles para o Cenário C2



Fonte: Autor

Figura 14 - Delimitação da Área de drenagem da Av. Dr. Airton Teles para o Cenário 3



Fonte: Autor

Entre os períodos do cenário C1 e do cenário C2, houve um acréscimo absoluto de mais de 1 km² na área de captação da bacia urbana, enquanto percebeu-se uma diminuição de 0,5 km² da BCAT nos últimos 45 anos, que corresponderam ao período de transição entre o C2 e o C3. Essas alterações são efeitos do processo de implantação da rede de drenagem pluvial, considerada no processo de divisão das subbacias.

A drenagem superficial da microbacia que antes se desenvolvia através de antigos córregos, hoje extintos, foi sendo moldada pelos elementos urbanos e hoje se dá exclusivamente pelos sistemas de micro e macrodrenagem existente. No cenário atual, 5 grandes canais de macrodrenagem direcionam suas águas até o exutório da microbacia.

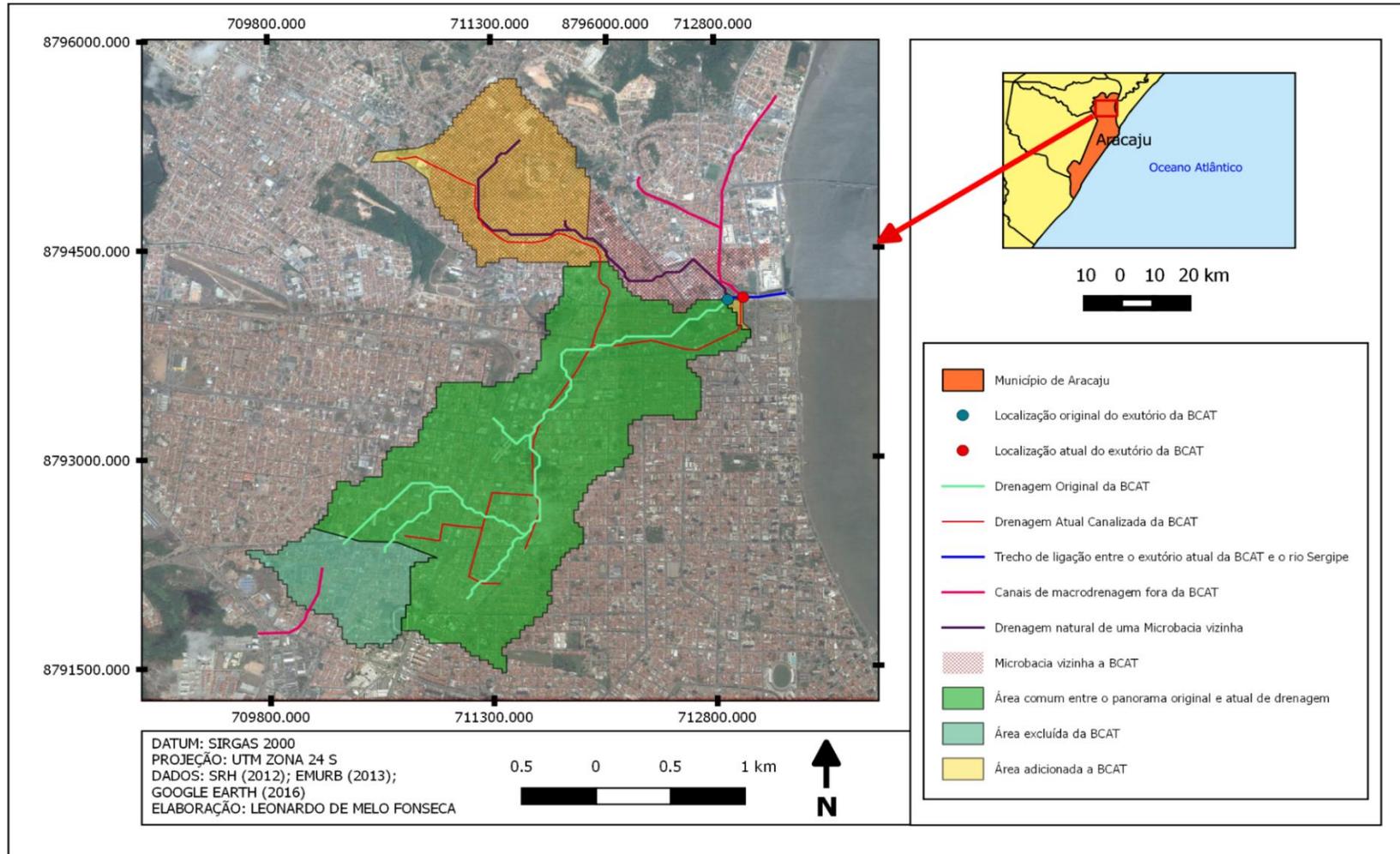
O mapa da Figura 15 mostra a dinâmica da BCAT durante os períodos C1 e C3. O canal da Petrobrás, em destaque no canto inferior esquerdo do mapa, desviou parte da drenagem da microbacia para uma área de influência de remanescentes de manguezais próximo ao rio Poxim, fora da BCAT. Por outro lado, o canal Comandante Miranda, construído na Avenida Visconde de Maracaju - porção Norte da microbacia - agregou parte da drenagem de outra microbacia à BCAT, aumentando substancialmente a área de influência da drenagem da Avenida Dr. Airton Teles, mesmo com a desincorporação da área ao sudoeste.

A localização dos exutórios da BCAT também foi influenciada pela modificação do padrão original de drenagem. Foi observado um deslocamento de aproximadamente 100 m entre os pontos finais de convergência do escoamento superficial da BCAT dos cenários C1 e C3.

As águas dessa outra microbacia ao norte que antes se encontravam com as águas do atual canal da Av. Airton Teles apenas no seu exutório, passaram a ser incorporadas logo no início da Avenida, onde há encontro dos canais da avenida Gentil Tavares, Comandante Miranda e Airton Teles. Essa mudança pode ter promovido aumento do escoamento superficial no trecho da Avenida Dr. Airton Teles, e será discutido nos itens seguintes.

Também é possível notar no mapa a retilineidade dos trechos canalizados do C3 frente aos cursos d'água ainda com meandros no C1.

Figura 15 - Mapa mostrando a dinâmica da Bacia de contribuição da Av. Airton Teles (BCAT) entre os períodos dos Cenários C1 e C3



Fonte: Autor

No “Apêndice B” podem ser visualizadas ainda as redes de fluxo construídas segundo as divisões de bacia dos 3 cenários analisados. Em todos eles, a Avenida Dr. Airton Teles está localizada em destaque na última subbacia, antes do exutório.

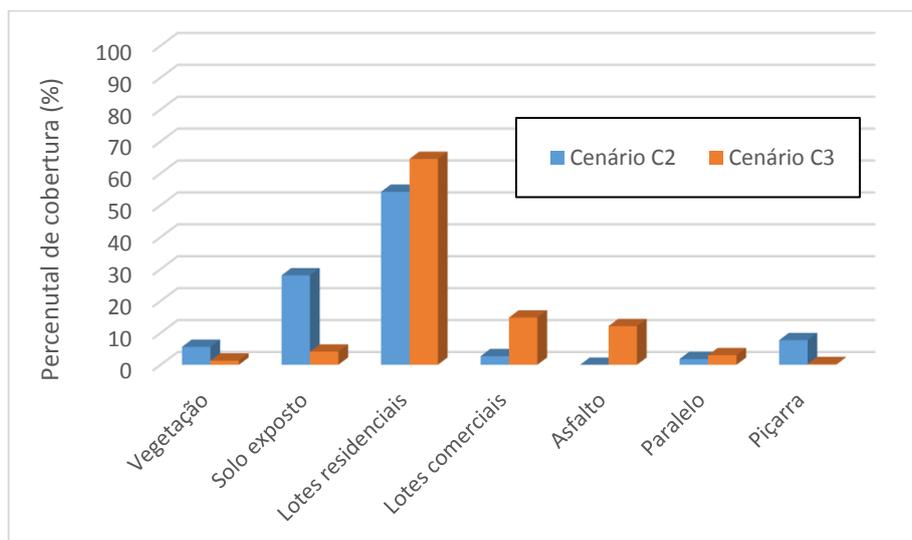
4.2 ALTERAÇÕES NO USO DO SOLO E ESTIMATIVA DO CN

As alterações no uso do solo da região de estudo foram relacionadas com o parâmetro CN, que depende de características como o tipo de solo e o uso do solo. O “Apêndice C” mostra o mapa de solos da bacia de contribuição da Avenida Dr. Airton Teles.

A definição do uso do solo na microbacia foi importante para o cálculo do parâmetro CN. O uso do solo do cenário C1 foi totalmente estimado através de relatos históricos da região, em contrapartida, para os cenários C2 e C3 foi possível obter informações mais precisas devido ao uso de informação aéreas. O “Apêndice D” mostra as considerações realizadas na estimativa da área de lotes residenciais e comerciais por subbacia para os cenários C2 e C3.

A Figura 16 exibe um gráfico com as classes de uso do solo e suas porcentagens.

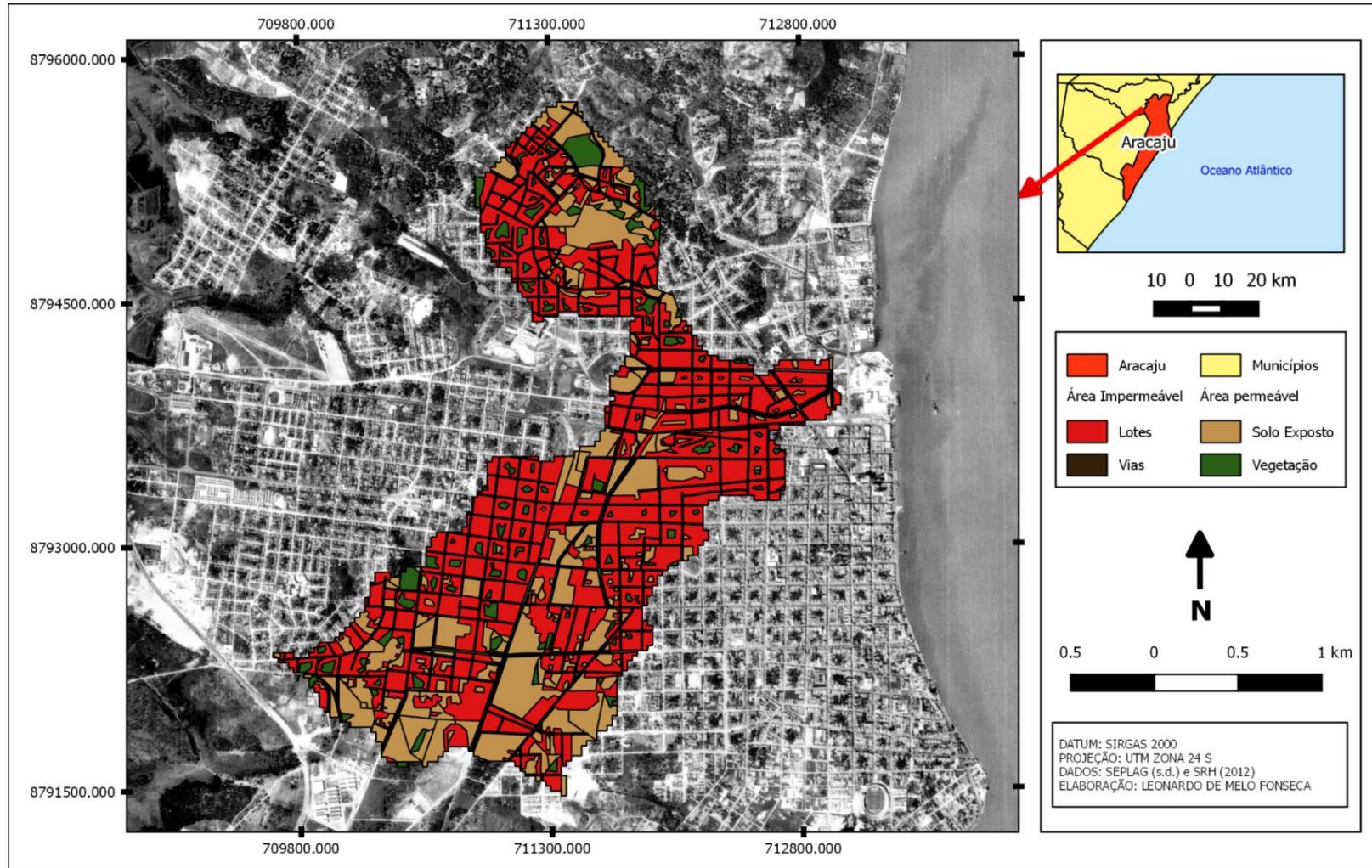
Figura 16 - Dinâmica do uso do solo entre os cenários C2 e C3.



Fonte: Autor

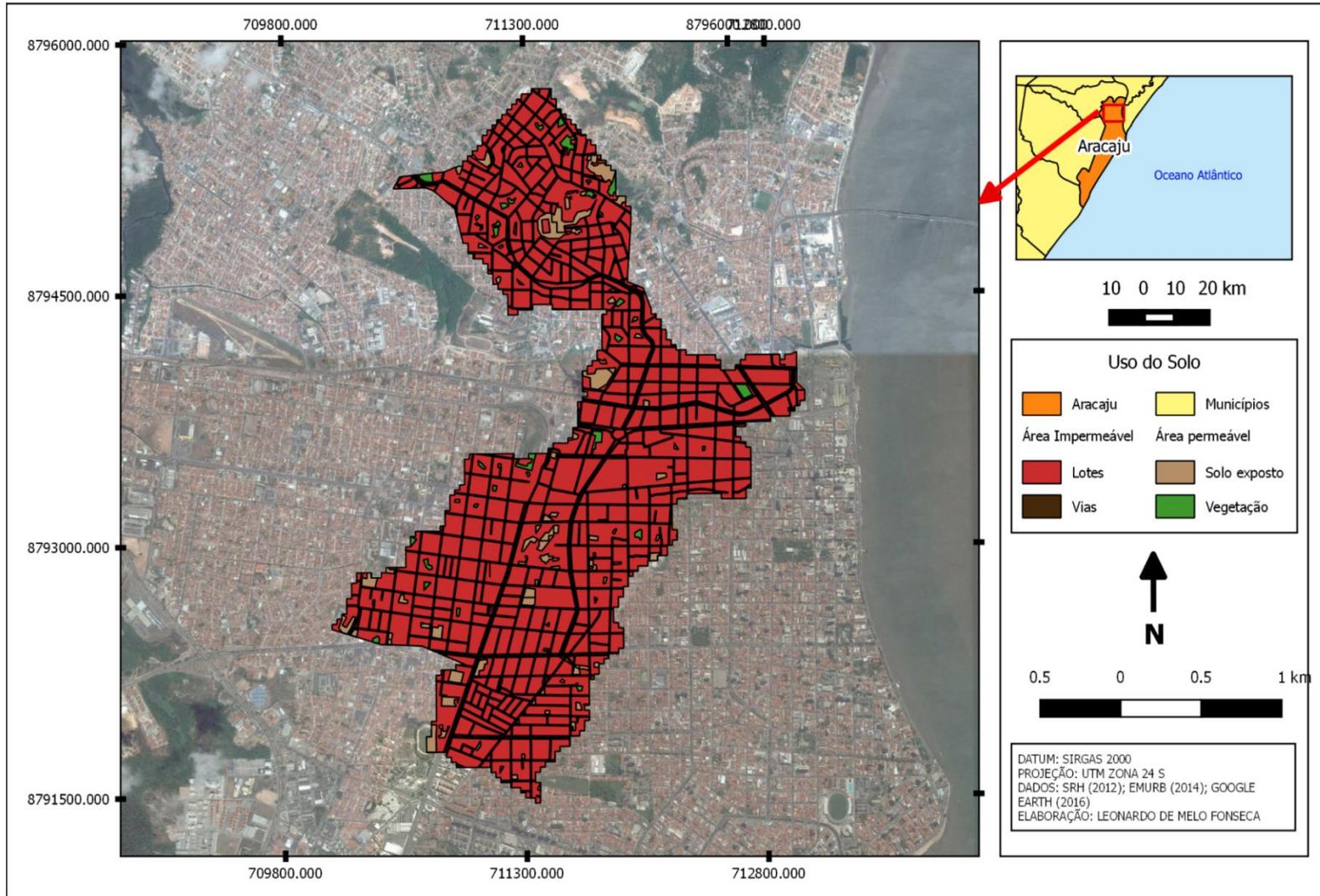
Considerando o período comparado, observa-se que houve redução da área permeável na bacia (solo exposto e vegetação) e aumento da área correspondente à lotes urbanos e vias, principalmente pavimentadas. Essa tendência urbana acarretou numa série de impactos ambientais à região, principalmente no ponto de vista hidrológico, como será mostrado através da comparação entre parâmetros hidrológicos. A Figura 17 e a Figura 18 mostram respectivamente os mapas de uso do solo elaborados para os cenários C2 e C3 da BCAT.

Figura 17 - Mapa de uso do solo da BCAT para o Cenário C2 sobre uma imagem aérea de 1970



Fonte: Autor

Figura 18 – Mapa de uso do solo da BCAT para o Cenário C3 sobre uma imagem de satélite atual



Fonte: Autor

Os valores de CN para cada subbacia foram calculados segundo o uso do solo e podem ser visualizados no “Apêndice E”. A Tabela 2, resume os resultados encontrados para o parâmetro em toda a BCAT para os 3 cenários.

Tabela 2 - Valores médios de CN calculados para as subbacias da BCAT nos Cenários C1, C2 e C3

CENÁRIO C1			CENÁRIO C2			CENÁRIO C3		
Subbacia	CN _m	Área(%)	Subbacia	CN _m	Área(%)	Subbacia	CN _m	Área(%)
C1_SB01	48	14,18	C2_SB01	72	61,91	C3_SB01	84	11,11
C1_SB02	48	12,41	C2_SB02	68	5,99	C3_SB02	79	14,67
C1_SB03	48	17,97	C2_SB03	71	2,27	C3_SB03	81	5,78
C1_SB04	48	2,78	C2_SB04	71	15,76	C3_SB04	81	2,89
C1_SB05	48	7,59	C2_SB05	77	14,07	C3_SB05	80	22,00
C1_SB06	48	14,68	Média	72,00	100	C3_SB06	78	27,78
C1_SB07	49	9,37				C3_SB07	81	15,78
C1_SB08	54	21,01				Média	80,00	100
Média	49,35	100						

Fonte: Autor

No cenário C1, a faixa de valores de CN variou entre 48 e 54 (média = 49,35), onde o maior valor encontrado (CN = 54) correspondeu ao da bacia C1_SB08, localizada nos arredores do centro comercial de Aracaju, em que na época era uma das únicas regiões ocupadas da cidade segundo Porto (1991), devido à proximidade com o centro portuário que fomentou o desenvolvimento da cidade.

A situação foi similar no cenário C2, com a região da subbacia C2_SB05, inserida nos arredores do centro, apresentando o maior valor de número de escoamento (CN = 77), possivelmente devido a sua ocupação ter ocorrido mais cedo, comparando-se com as outras subbacias na época considerada. Em contrapartida, todos os valores do coeficiente para o cenário C2 foram superiores aos do Cenário C1 e variaram entre 68 e 77, com valor médio de 72.

Para o cenário C3, a bacia próxima ao exutório (C3_SB07), apresentou valor de CN um pouco superior ao observado no cenário C2 (CN = 77 e 81), porém em todas as

outras subbacias houve aumento considerável do número de escoamento, chegando ao mesmo patamar da C3_SB07, sendo que o valor médio calculado foi de 80.

Vale ressaltar que a utilização maciça de asfalto como pavimento depois da década de 70, fez o percentual dessa classe atingir pouco mais de 12% de toda a área da bacia no cenário atual. Ruas pavimentadas e que possuem sistema de drenagem, apresentam CN de 98, ou seja, uma superfície quase impermeável, fator este que pode ter alavancado os valores de CN médio no cenário de urbanização intensa.

Huffner (2013), estudando a bacia do Arroio Dilúvio na Região Metropolitana de Porto Alegre e comparando a evolução da urbanização entre 1972 e 2012, percebeu um aumento de 21 para 38,25% da classe em toda a bacia. Com uma área total de captação 3,39 km², os valores de CN calculados pela autora para as suas subbacias variaram entre 60 e 73, no cenário pré-urbanização, e, 61,2 e 78,2 no cenário pós-urbanização.

Os valores de Huffner (2013) para o cenário atual foram inferiores aos valores encontrados para a bacia da Av. Dr. Airton Teles, possivelmente devido a cobertura do solo da bacia do Arroio Dilúvio apresentar ainda considerável área de vegetação e campo, classes que apresentam CN baixos. Entretanto, o solo da região da bacia estudada pela autora, apresentava solo tipo B, o que pode ter contribuído para valores absolutos médios de CN para uma parcela de área urbana não tão considerável.

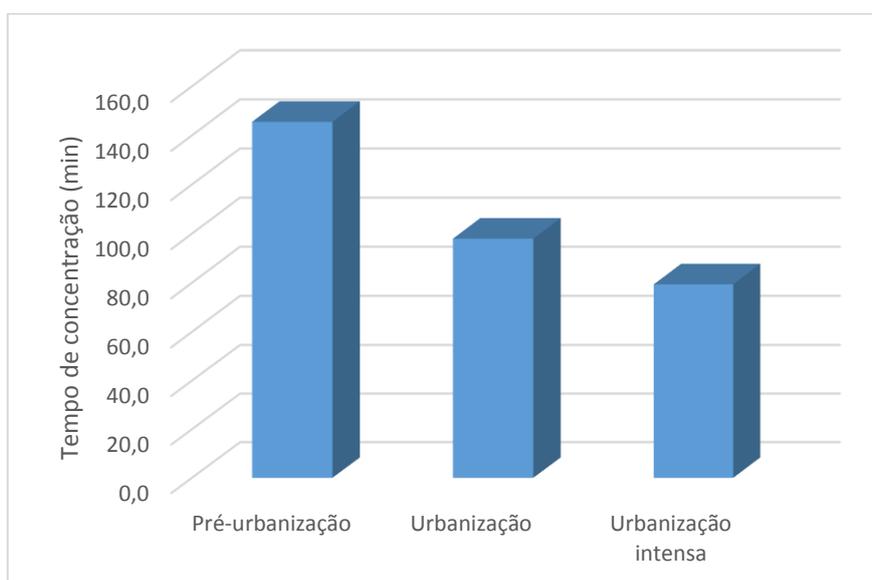
Em relação aos hietogramas de precipitação efetiva, a variação nos valores do número de escoamento influenciou de forma intensa nos gráficos construídos. Nos hietogramas disponibilizados no “Apêndice F”, é possível notar uma diminuição gradativa da parcela de precipitação que infiltra no solo se comparado no tempo. No cenário C1, a parcela verde que representa a parte da chuva que infiltra é superior à parte vermelha que consiste na parcela que se transforma em *runoff* em praticamente todas as subbacias. Nos cenários de urbanização, a parcela que infiltra é claramente menor, chegando a ficar quase que inexistente em todas as subbacias do cenário C3.

4.3 DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO

As características dos canais de drenagem, utilizadas para o cálculo do tempo de concentração no cenário C3 podem ser visualizadas no “Apêndice G”, enquanto os cálculos propriamente ditos do tempo de concentração estão expostos no “Apêndice H”

A Figura 19, ilustra a diferença entre os tempos de concentração total calculados para a microbacia nos 3 cenários considerados.

Figura 19 – Tempos de concentração para cada cenário



Fonte: Autor

Através da análise do gráfico, percebe-se que houve uma queda progressiva no tempo de concentração da bacia. Notou-se uma redução de 146 para 98 minutos no tempo de concentração entre o período do C1 e o período do cenário C2, aproximadamente 33 % em termos relativos. Comparando os cenários de urbanização e de urbanização intensa, o tempo de concentração diminuiu 19,1%, alcançado o valor de 79 minutos no cenário C3.

Essa queda dos valores do tempo de concentração está ligada intimamente a facilidade de escoamento da água em elementos urbanos, como canaletas e canais retificados e revestidos, estruturas bastante comuns no cenário mais atual de urbanização que promovem um aumento da velocidade da água. No cenário C1, os obstáculos

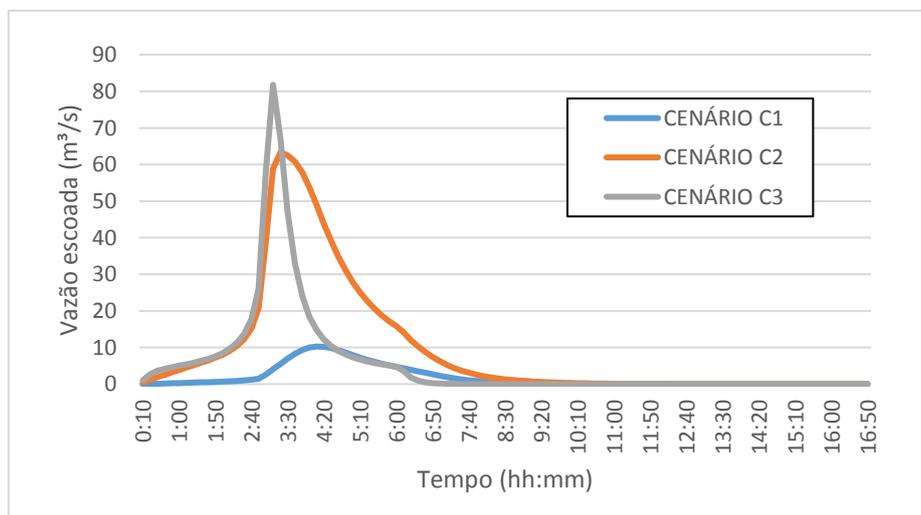
proporcionados pela vegetação natural nas vertentes acabam retardando o tempo de concentração da água na microbacia, situação semelhante ao cenário C2, onde o escoamento em canais não revestidos apresenta velocidades inferiores quando comparado com a situação atual dessas estruturas de macrodrenagem.

4.4 HIDROGRAMAS DE CHEIA

Os hietogramas de precipitação efetiva gerados pelo ABC 6 foram utilizados para a construção dos hidrogramas de cheia no próprio *software*. Através do método de Santa Bárbara foram elaborados hidrogramas para os “nós” compreendidos entre o início e o final da atual Avenida Dr. Airton Teles. O “Apêndice I” mostra imagens da inserção dos dados calculados e estimados no software ABC 6.

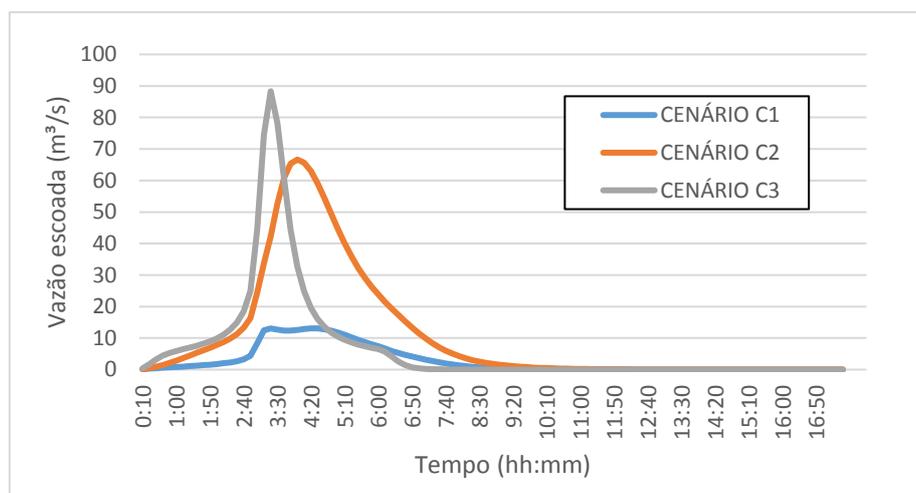
A Figura 20 e Figura 21 a ilustram o gráfico de deflúvio para os 3 cenários ambientais no trecho inicial da Avenida, e para o seu trecho final, respectivamente.

Figura 20 - Evolução do hidrograma de cheia no trecho inicial da Av. Dr. Airton Teles



Fonte: Autor

Figura 21 - Evolução do hidrograma de cheia num ponto próximo ao exutório da BCAT



Fonte: Autor

Os tempos de pico de cheia e as vazões máximas correspondentes foram extraídos dos hidrogramas e expostos na **Tabela 3**, logo em seguida.

Tabela 3 - Comparação entre as vazões de pico (Q_p) e tempos de pico (t_p) na Avenida Dr. Airton Teles nos 3 cenários ambientais.

Cenário	Início da Avenida		Exutório	
	Q_p (m^3/s)	t_p (min)	Q_p (m^3/s)	t_p (min)
Pré-urbanização (C1)	10,3	250	13,1	200
Urbanização (C2)	63,3	200	66,6	240
Urbanização intensa (C3)	81,8	190	88,3	200

Fonte: Autor

É possível notar um aumento considerável da vazão de pico no trecho inicial da Avenida Dr. Airton Teles entre o período analisado. Para o cenário C2 a vazão de urbanização representa 6,1 vezes a vazão de pré-urbanização, levando em conta o cenário C1, enquanto que considerando o cenário atual, essa relação aumenta para quase 8 vezes.

A Tabela 4 relaciona as vazões e expõe também a variação relativa da área de contribuição entre pares de cenários.

Tabela 4 - Incremento de área da BCAT e fator de aumento da vazão.

Trecho	Cenário pré	Cenário pós	Q(pós)/Q(pré)	Incremento de área na bacia (%)
Início da avenida	C1	C2	6,1	38,1
	C1	C3	7,9	21,5
	C2	C3	1,3	-12,1
Fim da avenida	C1	C2	5,1	27
	C1	C3	6,7	13,9
	C2	C3	1,3	-10,3

Fonte: Autor

Analisando o trecho final da bacia, ou seja, incluindo toda a área da bacia no cálculo, e o cenário de pré-urbanização como C2, percebe-se que o CN evoluiu de 72 para 80. Ocorreu uma redução de 10,3 % da área de contribuição da bacia, porém mesmo assim, a vazão de pós-urbanização foi 30 % superior. Isso mostra que o fator preponderante na potencialização das vazões foi a mudança do parâmetro CN, que está conectado diretamente com a alteração do uso do solo na microbacia.

A Figura 22 mostra um episódio de alagamento comum na Avenida Dr. Airton Teles, causado possivelmente pelo excesso de *runoff* gerado na BCAT.

Figura 22 - Alagamento registrado no canal da Av. Dr. Airton Teles na época chuvosa



Fonte: Imagem de internet

Huffner (2012), utilizando também um tempo de retorno de 10 anos na determinação da vazão, encontrou um valor bem menor para essa relação em um ponto de outra microbacia urbana, na ordem de 3,5. Essa diferença pode estar relacionada ao incremento urbano menor que a bacia do arroio Dilúvio, estudada pela autora, sofreu na sua mancha urbana entre os períodos estudados. Enquanto houve um aumento percentual de apenas 17,25 % na área impermeável da bacia do arroio Dilúvio, a BCAT evoluiu sua área urbana de 19,4 para 94,6 %.

Comparando ainda o fator de aumento de vazão calculados no presente estudo com os valores definidos por Leopold (1968) *apud* Canholi (2014, p. 76), percebe-se que eles ultrapassaram o limite superior de aproximadamente 7 definido pelo autor, considerado limite máximo quando a 100% da área é impermeável e é totalmente servida por rede de drenagem.

Esse aumento intenso no valor da vazão pode estar relacionado à transposição de outra microbacia para a área da BCAT. A reestruturação da macrodrenagem urbana, com a implantação de canais de macrodrenagem sem seguir o padrão de escoamento natural, e assim aumentando a contribuição de *runoff* gerado, pode ter potencializado a relação entre as vazões de pré e pós-urbanização do trecho da Avenida Dr. Airton Teles, onde ocorre a integração entre as microbacias que foram conectadas pelos canais de drenagem.

O tempo de pico dos hidrogramas de cheia também sofreu alterações consideráveis, sendo que no trecho inicial da Avenida Airton Teles, houve diminuição do tempo de pico de vazão considerando os diferentes cenários. No cenário de virada dos séculos XIX e XX, o tempo de pico era de 250 minutos, já atualmente, o pico no hidrograma de cheia ocorre 60 minutos mais cedo. A redução dos tempos de concentração somada ao aumento de precipitação efetiva pode ter influenciado no adiantamento do pico de vazão no trecho. Com a água escoando mais rápida em canais retificados, aspecto característico no cenário C3, o tempo entre o início de uma precipitação e o ápice de um evento de cheia é seguramente menor.

Por outro lado, no trecho final da avenida, o comportamento é diferente. O tempo de pico estimado é o mesmo tanto no cenário C1 quanto no C3. Na verdade, no gráfico da Figura 21 é possível perceber que a diferença entre as vazões ocorridas entre 190 e 290

minutos é de apenas 0,7 m³ o que torna difícil caracterizar um momento específico como pico.

4.5 DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DE DETENÇÃO

Para encontrar o volume de reservação necessário para conter o excedente de precipitação, utilizou-se como parâmetro de pós-urbanização o cenário C3. Na Tabela 5, foi calculado o volume de pré-dimensionamento, considerando como períodos de pré-urbanização os cenários C1 e C2.

Tabela 5 - Pré-dimensionamento do volume de detenção

Cenário de pré-urbanização	Qb (m ³ /s)	Qa (m ³ /s)	Qb / Qa	Va (m ³)	Vs (m ³)
C1	10,3	81,8	0,13	344367	301.005
C2	63,3	81,8	0,77	344367	77.883

Fonte: Autor

Percebe-se uma diferença grande nos volumes necessários para conter o *runoff* excedente entre os cenários considerados. Seria necessário um volume de reservação de aproximadamente 300.000 m³ para compensar as perdas de infiltração e o volume excedente gerado pela transposição de uma microbacia vizinha.

Caso deseja-se reproduzir os valores de escoamento urbano do cenário C2, basta implantar um reservatório ou reservatórios cujo volume somado apresente 78.000 m³.

Devido ao alto nível de ocupação da microbacia, com atualmente mais de 94 % de áreas “impermeáveis”, sugere-se a construção de vários reservatórios off-line e subterrâneos, pois poderiam ser implantados em parques, praças e lugares abertos sem ocupar uma área que poderia ser utilizada para outro tipo de atividade. A Figura 23 e a Figura 24 mostram um exemplo de reservatório construído sob uma quadra de esportes na cidade de Porto Alegre. Ressalta-se que a integração do reservatório com áreas de lazer facilitaria a aceitação da população para esse tipo de estrutura.

Figura 23 - Reservatório subterrâneo implantado em praça de Porto Alegre-RS



Fonte: Imagem de internet

Figura 24 - Quadra poliesportiva localizada sobre o reservatório de detenção



Fonte: Imagem de internet

Além disso, reservatórios off-line, que apresentam uma configuração em paralelo, seriam mais adequados, pois não precisam ser construídos diretamente sobre a rede de canais. Como os canais da região são limitados por grandes avenidas, bacias com configuração off-line só necessitariam de uma conexão entre os canais e o reservatório. Uma desvantagem de reservatórios subterrâneos seria o custo adicional com o bombeamento da água pluvial para cotas mais elevadas.

Vale ressaltar ainda que a utilização de canais de drenagem para a disposição de efluentes pode inviabilizar o controle quantitativo da vazão neste tipo de estrutura, pois o

volume dimensionado foi baseado apenas no excesso de vazão precipitada. Além disso, por ser uma região baixa, com relação ao nível do mar, alguns canais da BCAT como o próprio canal da Airton Teles sofrem influência da variação de maré. Esses dois fatores levam a crer que o volume necessário para detenção de toda a vazão de entrada no reservatório deva ser maior.

4.6 PROGRAMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PARA RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO

O principal objetivo do programa proposto foi garantir o controle da poluição difusa do reservatório.

Inicialmente definiu-se que apenas 2 pontos de monitoramento seriam considerados, e apenas o efluente líquido seria monitorado. O *design* do reservatório, que deve conter entrada (vertedor) e saída (orifício) bem definidas e conectadas a rede de drenagem, permitiram a determinação de apenas 1 ponto nas estruturas de entrada e saída do reservatório.

Sabe-se que o *runoff* urbano apresenta características diferentes da poluição pontual. A concentração dos poluentes no escoamento superficial urbano varia bastante e de forma irregular pois depende de muitos fatores externos como a duração da precipitação, a sua intensidade, o intervalo entre precipitações, o uso do solo na cidade, dentre outros aspectos.

EPA (1983) *apud* USA (2002 p. 12) define os seguintes parâmetros como padrão para análise do *runoff* urbano: Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Cobre, Zinco, Chumbo, Fósforo total, Fósforo solúvel, Nitrogênio Total, nitrito e nitrato. Para Strecker (1994) *apud* USA (2002) esses parâmetros são típicos do ambiente das cidades e são encontrados em concentrações com potencial de causar alterações ambientais; as suas técnicas de análise são confiáveis, baratas e difundidas; e podem ter suas concentrações atenuadas através de técnicas de tratamento viáveis, sendo assim passíveis de entrarem no programa de monitoramento.

Tomando como base o ciclo do nitrogênio, as suas formas nitrito e nitrato indicam possibilidade de descargas de efluentes mais antigas, enquanto o nitrogênio amoniacal é presente de forma excessiva no esgoto bruto. Definiu-se que as formas Nitrogênio total, amoniacal, nitrito e nitrato fossem analisadas nos 2 pontos.

Devido ainda a localização do reservatório no ambiente urbano, ou seja, no raio urbano, pode-se incluir os parâmetros físicos cor e o odor no programa de monitoramento.

As variáveis oxigênio dissolvido, coliformes totais e fecais foram acrescentadas ainda devido à presença de carga orgânica proveniente de ligações clandestinas na rede de drenagem.

O pH e a Temperatura foram integrados no programa devido a sua associação direta com a maioria dos parâmetros químicos e físicos de análise qualitativa, principalmente no que diz respeito a sua influência na biodisponibilidade de parâmetros inorgânicos nos compartimentos ambientais do próprio reservatório.

Sólidos Totais, Suspensos Totais e Sedimentáveis também foram incluídos no programa devido à lixiviação de materiais sólidos através da rede de drenagem. Tucci (2003), por exemplo, mostra através do Quadro 16 uma variação grande na quantidade estimada de sedimentos em algumas cidades brasileiras.

Quadro 16 – Estimativas da quantidade de sedimentos depositados na drenagem urbana em algumas cidades brasileiras.

Rio e Cidade	Característica da fonte de sedimentos	Volume (m ³ /km ² .ano)
Rio Tietê em São Paulo	Sedimentos dragados	393
Tributários do rio Tietê em São Paulo	Sedimentos de fundo	1400
Lago da Pampulha em Belo Horizonte	Sedimentos de 1957-1994	2436
Arroio Dilúvio em Porto Alegre	Sedimentos dragados	750

Fonte: NAKAE E BRIGHETTI (1993); LLORET RAMOS *et al.* (1993); OLIVEIRA E BATISTA (1997); DEP (1993) *apud* TUCCI (2003)

Para estabelecer a frequência de amostras considerou-se a ocorrência de eventos de precipitação, pois é nesse momento que é gerado o escoamento urbano. Devido a

variação de eventos de tormenta, a periodicidade do monitoramento foi definida como irregular e dependente das características das tormentas para a maioria dos parâmetros. A exceção foi considerada para os parâmetros temperatura, turbidez, cor, odor, OD, DBO, DQO e coliformes totais e termotolerantes, pois há contribuição diária de esgotos domésticos na rede de drenagem da BCAT como afirmam Santana *et al.* (2015), e assim foram estabelecidas também uma rotina mensal para esses parâmetros.

Devido a facilidade de medição de vazão, o parâmetro foi indicado para ser monitorado de maneira horária. Ressalva-se que a vazão durante períodos de estiagem pode ser um indicador do volume de efluentes sanitários despejados na rede de drenagem e dessa forma ajudar no combate às ligações clandestinas de esgoto.

Ainda nesse contexto, para USA (2002), deve-se considerar concentrações de poluentes para o pior caso possível, assim na amostragem dos parâmetros com rotina irregular, foi necessário selecionar tipos de eventos com maiores concentrações dos poluentes e não um conjunto de tempestades representativas da região. Para os autores, as tormentas selecionadas para amostragem devem apresentar volume maior que 0,1 in (2,54 mm) e período seco antecedente superior a 24 horas.

Para USA (2002) não deve ser realizada a comparação entre valores de saída e entrada de um reservatório de detenção durante um evento de tormenta, pois a concentração de saída para determinado poluente pode não apresentar relação com o *runoff* gerado a partir da precipitação. Para contornar o fato, optou-se por acrescentar um intervalo entre o monitoramento da entrada e da saída igual ao tempo de detenção do reservatório na amostragem entre a coleta do ponto de entrada e de saída da unidade.

O

Quadro 17 informa os aspectos de periodicidade e de amostragem propostos pelo programa de monitoramento:

Quadro 17 - Aspectos gerais propostos para o monitoramento

Periodicidade	definida	Horária, diária ou mensal
	Irregular, e exclusiva quando:	precipitação > 2,54 mm
		período seco antecedente > 24 horas
Número de Pontos de amostragem	Entrada (E)	Coleta no tempo t
	Saída (S)	Coleta no tempo (t + tempo de detenção do reservatório)

Fonte: Autor

É importante mencionar que dependendo dos recursos financeiros disponíveis para as análises, pode-se fixar um limite mensal de eventos monitorados nas condições de periodicidade irregular.

Com base nos aspectos gerais levantados para o monitoramento e nas indicações de parâmetros, foi elaborado o

Quadro 18, que resume os parâmetros e sua periodicidade de monitoramento. A marcação “x” na tabela refere-se aos pontos onde serão realizadas a análise para o parâmetro indicado.

Quadro 18 - Parâmetros e sua frequência no programa de monitoramento do reservatório de detenção

Tipo de parâmetro	Parâmetro	Periodicidade da amostragem	E	S
Físico	vazão	Horária	x	x
	turbidez	Mensal e irregular	x	x
	cor	Mensal e irregular	x	x
	odor	Mensal e irregular	x	x
	temperatura	Mensal e irregular	x	x
Químico	pH	Mensal e irregular	x	x
	ST	Mensal e irregular	x	x
	SST	Mensal e irregular	x	x
	Sólidos sedimentáveis	Mensal e irregular	x	x
	OD	Mensal e irregular	x	x
	DBO	Mensal e irregular	x	x
	DQO	Mensal e irregular	x	x
	Fósforo total	irregular	x	x
	Fósforo solúvel	irregular	x	x
	Nitrogênio total	Mensal e irregular	x	x
	Nitrogênio amoniacal	Mensal e irregular	x	x
	Nitrito	Mensal e irregular	x	x
	Nitrato	Mensal e irregular	x	x
	cobre	irregular	x	x
	zinco	irregular	x	x
chumbo	irregular	x	x	
Biológico	Coliformes totais	Mensal e irregular	x	x
	Coliformes fecais	Mensal e irregular	x	x

Fonte: Autor

Recomenda-se que a análise das amostras de água, levando em consideração que o reservatório receberia somente contribuição pluvial, deve ser baseada na metodologia

descrita no manual Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998) prezando a confiabilidade dos resultados.

Nesse sentido, é importante ainda que seja montado um banco de dados no intuito de caracterizar o *runoff* urbano de Aracaju e assim, estruturar soluções adicionais de tratamento visando atenuar a concentração dos poluentes provenientes do escoamento urbano.

Ressalta-se que apesar da inclusão de parâmetros exclusivos para a análise de efluentes sanitários, a coleta deste tipo de efluente deveria ser realizada separadamente das águas pluviais, como já é realizado em países desenvolvidos.

5 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada conseguiu mostrar de maneira eficaz a dinâmica dos parâmetros característicos do escoamento urbano e sua influência com o aumento da mancha urbana na região da Avenida Dr. Airton Teles.

Com a análise dos cenários ambientais definidos percebeu-se um acréscimo de 0,55 km² na área drenagem entre os cenários de pré-urbanização e urbanização intensa. Esse fato foi relacionado com a implantação da rede de macrodrenagem, que foi implementada sem levar em consideração os divisores topográficos da microbacia.

Essa alteração somada ao aumento da impermeabilização em toda a microbacia, caracterizada pelo aumento progressivo dos valores médios do parâmetro CN – que evoluíram de 49 para 80 – pode possivelmente ter potencializado as vazões de pico no trecho da Avenida Dr. Airton Teles.

Foram observadas ainda vazões de pós-urbanização 8 vezes superiores às vazões do período de pré-urbanização comparando os cenários C1 e C3. Apesar do valor ser superior aos valores encontrados na literatura, a transposição e conseqüente aumento relativo de 21,5% na área de contribuição da bacia podem ter contribuído para o aumento dessa relação.

Foi verificado ainda que o fator “uso do solo” pesa mais na interferência das vazões de pós-urbanização do que a mudança da área de contribuição, já que comparando os cenários C2 e C3, percebeu-se uma diminuição da área da Bacia de Contribuição da Av. Dr. Airton Teles, porém houve um aumento de 30 % na vazão de pós-urbanização.

Da mesma forma, a redução progressiva dos tempos de concentração nos cenários ambientais foi o fator preponderante para o adiantamento dos tempos de pico dos hidrogramas de cheia no trecho estudado. A Bacia de Contribuição da Av. Dr. Airton Teles, com tempo de concentração de 146 minutos no cenário C1 apresentava pico de cheia após 250 minutos, adiantado para 190 minutos no cenário atual de urbanização (C3) quando o tempo de concentração da microbacia foi estimado em 79 minutos. A substituição dos obstáculos naturais como a vegetação, e, a retificação do padrão de drenagem podem ter contribuído para esse resultado.

No que tange ao controle da qualidade dos reservatórios, o seu monitoramento apresentou como objetivo principal o controle da eficiência de atenuação da poluição

difusa drenada na microbacia. Os poluentes e padrões de exigência incluídos no programa foram baseados principalmente em dados americanos de *runoff* e nas características da rede de drenagem da região, que por possuir conexões sanitárias clandestinas, englobou também parâmetros de análise de efluentes sanitários.

A periodicidade para cada parâmetro foi indicada como regular (mensal ou horária) e/ou irregular, característica exclusiva para precipitações com características definidas, considerando ainda um limite de análises realizadas com base nos recursos disponíveis. Devido aos aspectos de configuração dos reservatórios propostos, indicou-se apenas um ponto de amostragem na entrada e um ponto na saída, com ressalva no intervalo entre as coletas que foi determinado com base no tempo de detenção da bacia. Recomendou-se ainda a construção de um banco de dados das análises, visando controlar a eficiência de remoção de poluentes no reservatório para garantir as exigências ambientais da legislação pertinente.

Vale ressaltar que o volume de detenção dimensionado e o programa de monitoramento proposto são ferramentas complementares para o controle quantitativo e qualitativo da água pluvial no ambiente urbano. Em países desenvolvidos, essas soluções já vêm sendo implantadas a alguns anos, entretanto, no Brasil, poucas cidades consideram a inclusão desses tipos de alternativas no controle de enchentes, sendo ainda recente a utilização deste tipo de estrutura na atenuação da poluição ambiental.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Hélio Mário de. Elementos Componentes do Sistema Ambiental Físico de Aracaju. In: ARAÚJO, H. M. *et al.* **O Ambiente Urbano: Visões Geográficas de Aracaju**. 1ª edição. São Cristóvão: Editora da UFS, 2006. p. 15-44.

BESKOW *et al.* 2009. **Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, n. 1, jan/fev 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n1/18.pdf> > Acesso em: 17 ago 2016

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil - SEDEC. **Banco de Dados e registros de desastres: sistema integrado de informações sobre desastres – S2ID**. 2016. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 18 ago 2016.

BRASIL. **Lei n. 11.445, de 5 de Janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm > Acesso em: 25 jul 2016.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> >. Acesso em: 11 ago 2016.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 11 ago 2016.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm >. Acesso em 10 ago 2016

BROOKS, K. N. *et al.* **Hydrology and the Management of watersheds**. 3 ed. Ames: Iowa State Press, 2003.

CANHOLI, Aluisio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARVALHO, Paulo Roberto de Sousa. **Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do rio Preto**. 48 p. (Dissertação de mestrado) Departamento de Geografia. Brasília, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3522/1/2007_PauloRobertodeSousaCarvalho.pdf> Acesso em: 15 jul 2016

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw Hill, 1988. Disponível em:<> Acesso em: 30 jul 2016

EMURB - EMPRESA MUNICIPAL DE OBRAS E URBANIZAÇÃO. **Pontos de Alagamentos_Atualização 11_2013**. 2016

FONSECA, *et al.* **Mapeamento Sócio-Ambiental como ferramenta para análise das relações espaciais: Os bairros de Aracaju**. Revista Geonordeste, Aracaju, n 1, 2011. Disponível em: <<http://www.seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/2429/2111>> Acesso em: 13 ago 2016

GIAU - Gestão Integrada das Águas Urbanas em Aracaju SE/Brasil. **Relatório do Diagnóstico Qualitativo Grupo Técnico GIAU**. Aracaju, 2010. Disponível em:<<http://www.semarrh.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid=212>>. Acesso em: 15 jul 2016

GOOGLE EARTH. **Imagem de satélite de Aracaju**. 2016.

GOUVEIA, Roberta Mâcedo Marques. **Mineração de Dados em Data Warehouse para Sistema de Abastecimento de Água**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Informática), Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/teses/teses/dissertacao_roberta.pdf> Acesso em: 14 ago 2016.

GRIBBIN, John E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4 ed. Tradução. São Paulo: Cengage Learning. 2014

HUFFNER, Anelise Nardi. **Otimização para Controle de Alagamentos urbanos: Aplicação na Bacia Hidrográfica da Vila Santa Isabel em Viamão, RS**. 82 p.

(Dissertação de Mestrado) UFRGS, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/78975>> Acesso em: 27 out 2016

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2011a. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=253096>>. Acesso em: 4 ago 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do censo demográfico: 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011b. 256 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>>. Acesso em: 10 ago 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. **SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 ago 2016.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP**. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso: 5 ago 2016.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Banco de Dados Geomorfométricos locais do Brasil. 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em: 2 ago 2016.

JACOMINE, P. K. T. *et al.* **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Boletim Técnico 36, Recife: EMBRAPA – Centro de Pesquisas Pedológicas/SUDENE – Divisão de Recursos Renováveis, 1975. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/331179>> Acesso em: 12 out 2016.

LAVAGNOLI, Luana Moreira. **Análise do impacto da evolução urbanística sobre o sistema de drenagem urbana**. 87 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) – UFES. 2014, Vitória. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/analise_do_impacto_da_evolucao_urbanistica_sobre_o_sistema_de_drenagem_urbana_luana_lavagnoli_moreira.pdf> Acesso em:

LEOPOLD, Luna B. **Hydrology for Urban Land Planning: a guidebook on the hydrologic effects of urban land use**. Washington, Geological Survey circular 554, 1968. 18 p. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/circ/1968/0554/report.pdf>>. Acesso em: 20 ago 2016.

MACHADO, Anselmo Belém. **O Plano Diretor de Aracaju e suas contradições: Uma análise preliminar.** Revista do Departamento de Geografia - USP, São Paulo, v. 24, 2012, p. 169-184. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/52760/56615>>. Acesso: 10 set 2016.

MARQUES, H. G. *et al.* **Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. Anais (on-line) São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1263.pdf>. Acesso em: 10 ago 2016.

PEREIRA FILHO, A. J. *et al.* **Impactos Antrópicos no clima da região metropolitana de São Paulo.** In: Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, Vol. 31, n 1, 2007, p. 48-56. Disponível em: <http://sbmet.org.br/portal/publisher/uploads/publicacoes/1_2007___Volume_31_No_1.pdf#page=50>. Acesso em: 20 jul 2016> Acesso em: 15 jul 2016.

PINHEIRO, Rafaelle Camilla Santos; SANTOS, Cristiane Alcântara de Jesus. **Evolução urbana, cultura e turismo no Centro Urbano de Aracaju- SE.** Revista Ponta de Lança, São Cristóvão, v. 6, p. 46-67, 2012. Disponível em: <<http://seer.ufs.br/index.php/pontadelanca/article/download/3327/2935>>. Acesso em: 23 out 2016

PORTO, Fernando. **A Cidade do Aracaju 1855-1865: ensaio de evolução urbana.** 2 ed. Aracaju: Governo de Sergipe/FUNDESC, 1991.

_____. **Alguns nomes antigos do Aracaju.** 2º ed. Aracaju: Gráfica Editora, 2011.

PORTO, Mônica Ferreira do Amaral. Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial Urbano. In: TUCCI, C. L. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. L. (Org.). **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: EDUFRGS/ABRH, reimpressão (2015), 1º edição, 1995a, p. 387-428.

PORTO, Rubem La Laina. Escoamento Superficial Direto. In: TUCCI, C. L. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. L. (Org.). **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: EDUFRGS/ABRH, reimpressão (2015), 1º edição, 1995b, p. 107-165.

PORTO, R. L. L. *et al.* **ABC 6, um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias complexas.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999, Belo Horizonte. Anais (on-line) Belo Horizonte: ABRH, 1999. Disponível em: <<http://www.labsid.eng.br/software.aspx?id=8>> Acesso em: 10 jul 2016.

PORTO, R. L. L. *et al.* Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Organizador). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFGRS Editora, 2009, p. 805-847.

PORTO ALEGRE. PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Detenção – As bacias que ficam secas**. S. d. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=69> Acesso em: 10 nov 2016

REIS, Janete Teresinha; SILVEIRA, André Luiz Lopes; PEREIRA FILHO, Waterloo. **Estimativa entre Densidade Habitacional e Áreas Impermeáveis na Região Urbana da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Cadena em Santa Maria, RS**. Revista Ciência e Natura, Santa Maria, v. 33, p. 145-160, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/viewFile/9983/6008>>. Acesso em: 24 jul 2016

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES T. E. A. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. In: FINEP; CRHIDRO; PROSAB. (Org.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009, v. 1, p. 19-73. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf> Acesso em: 13 out 2016

SANTANA, J. L. S. *et al.* **Diagnóstico ambiental e gestão das águas urbanas no canal Airton Teles, localizado em Aracaju no estado de Sergipe**. Congresso Gestão da Água e Monitoramento Ambiental, Aracaju, 2015. Anais (on-line). Aracaju. Disponível em: <http://www.resag.org.br/congressoresag2015/anais/img/pdfs/ID_77.pdf> Acesso em: 14 jul 2016

SERGIPE. SECRETARIA DO ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Ortofotos de Aracaju – década de 70**. S.d.

SILVEIRA, Gislaine Massuia da. **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. 243 f. (Dissertação de mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082010-125920/publico/Dissertacao_Gislaine_Massuia_da_Silveira.pdf> Acesso em: 10 nov 2016

SCS. SOIL CONSERVATION SERVICE. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Washington DC: U.S. Dept. Agr. Technical Release - 55, 2 ed., 1986. Disponível em: <http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf> Acesso em: 10 ago 2016.

SOUSA, Eudo Robson. **Asfaltamento da Rua Laranjeiras**. Aracaju, 23 jun. 2016. Disponível em: < <http://aracajusaudade.blogspot.com.br/2016/06/asfaltamento-da-rua-laranjeiras.html> > Acesso em: 02 set 2016.

SOUZA, Fernando Antônio Santos. Um olhar sobre Aracaju em busca de um novo paradigma urbano. In: FRANÇA, V. L. A.; FALCON, M. L. O.; MOGUEIRA, A. D. **Aracaju: 150 anos de vida urbana**. Aracaju: PMA/SEPLAN, 2005, p. 41-52.

TOMAZ, Plinio. **Curso de Manejo de Águas Pluviais – Fórmula de Manning e Canais**, 2011. Disponível em: < http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo_50_formula_de_manning_galerias_e_canais.pdf > Acesso em: 13 nov 2016

TUCCI, C. E. M. Inundações e Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Organizadores). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003 p. 45-129. Disponível em: < <http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/inbr02803.pdf> >. Acesso em: 20 set 2016.

_____. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2 ed., 2005.

_____. **Inundações Urbanas**. 1 ed.. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

_____. Escoamento em rios e reservatórios. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4 ed., Porto Alegre, UFRGS Editora, 2009a, p. 443-483.

USA. Urban Drainage and Flood Control District - UDFCD. **Urban Storm Drainage Criteria Manual: Volume 3 - Best Management Practices**. Denver: UDFCD, 2010. Disponível em: < http://udfcd.org/wp-content/uploads/uploads/vol3%20criteria%20manual/01_USDCM%20Volume%203%20UPDATED2015.pdf >. Acesso em: 15 set 2015.

USEPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Urban Runoff Pollution Prevention and Control Planning**. Washington D.C.: EPA, 1993. Disponível em: < <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB94144623.xhtml> > Acesso em: 14 out 2016

USEPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Urban Stormwater BMP Performing Monitoring - A guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP for Database requirements. 2002. Disponível em: < <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/montcomplete.pdf> > Acesso em: 23 ago 2016

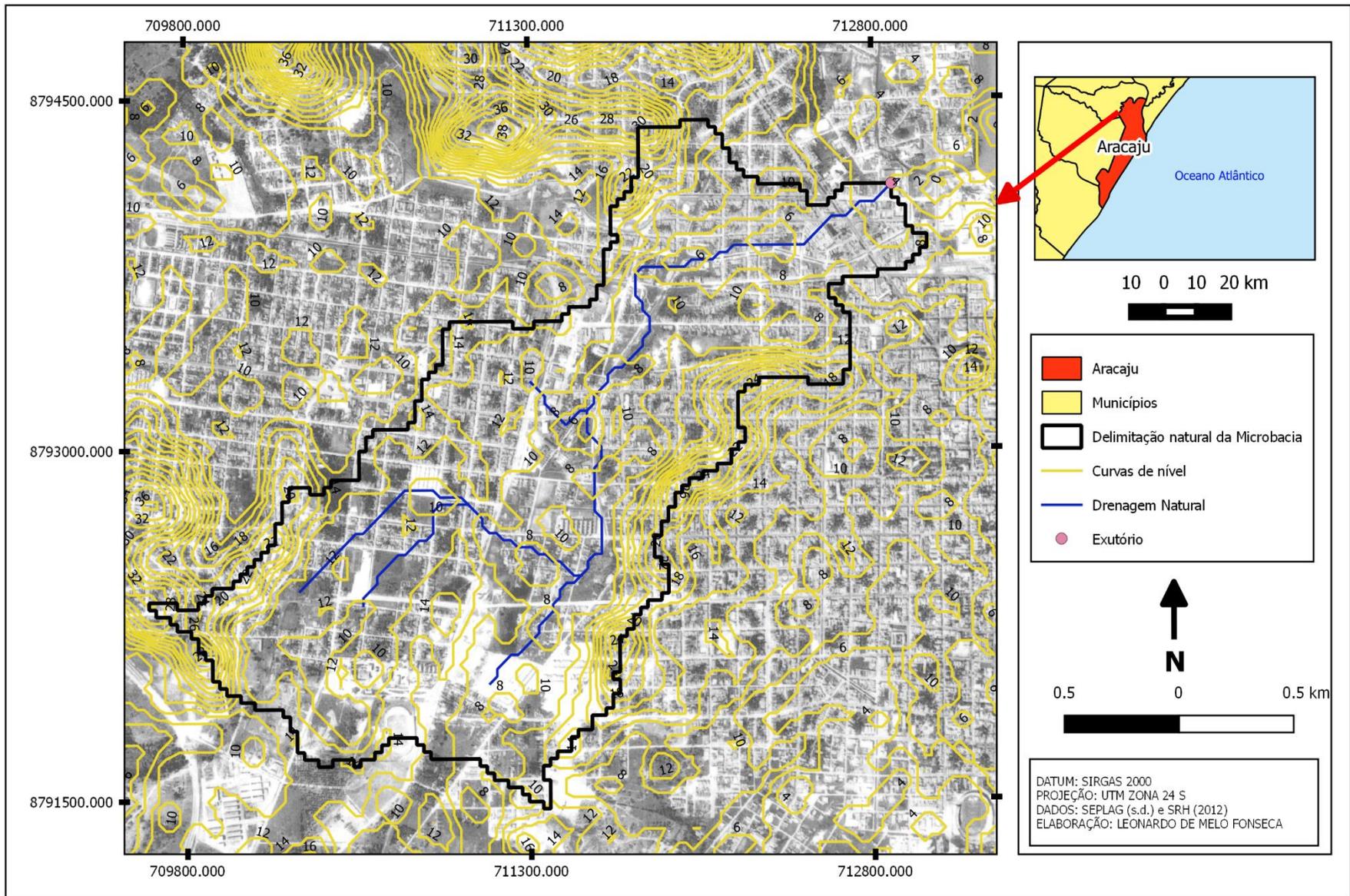
USEPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National Research Council. Comitee on Reducing Stormwater Discharge Contributions to Water Pollution. **Urban Stormwater Management in the United States**. Washington D.C.: The National Academies Press, 2008. Disponível em: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/nrc_stormwaterreport.pdf > Acesso em: 20 ago 2016.

VILAR, José Wellington Carvalho. Evolução da Paisagem Urbana do Centro de Aracaju. In: ARAÚJO, H. M. *et al.* **O Ambiente Urbano: Visões Geográficas de Aracaju**. São Cristóvão: Editora da UFS, 1 ed., 2006. p. 45-67.

ZAHED FILHO, Kamel; MARCELLINI, Silvana Susko. Precipitações Máximas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, L. L.; BARROS, M. T. L. (Organizadores). **Drenagem Urbana**. Reimpressão (2015). Porto Alegre: ABRH, 1995, p. 37-7

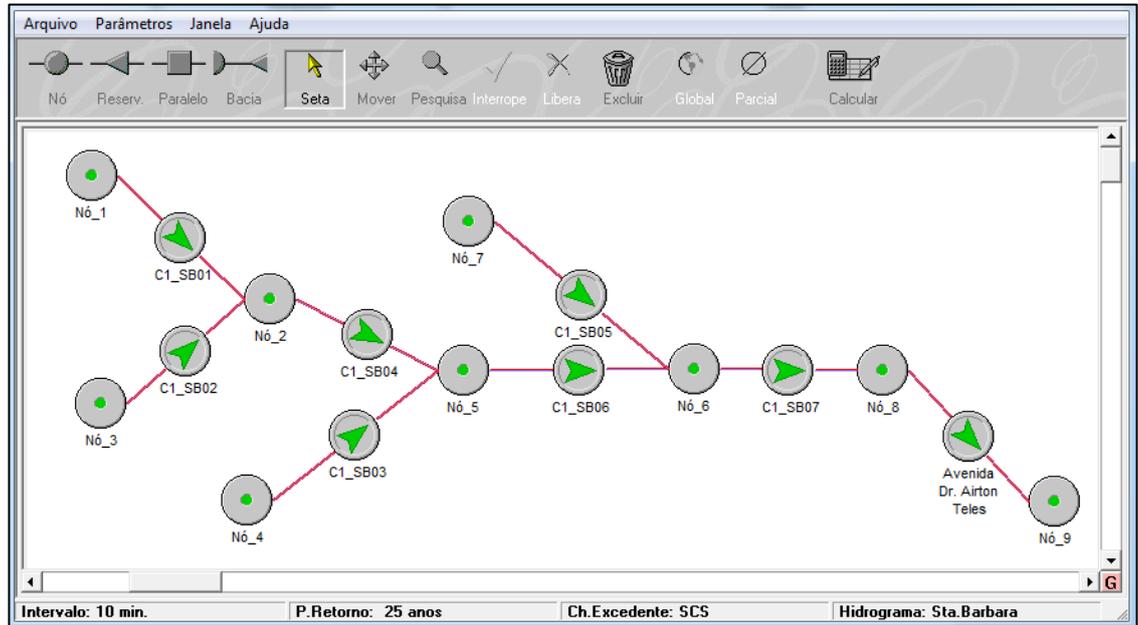
APÊNDICES

APÊNDICE A – Mapa com as curvas ipsométricas e a drenagem natural do cenário C1 sobre imagem de satélite da década de 70

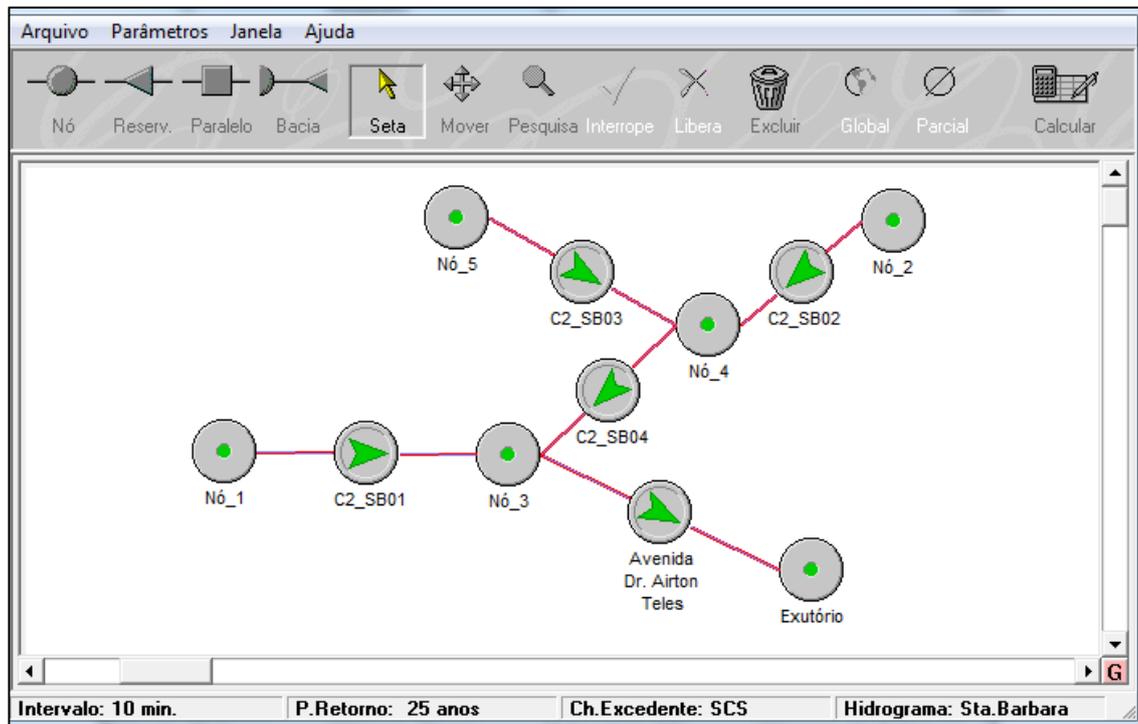


APÊNDICE B – Redes de fluxo elaboradas através do ABC 6

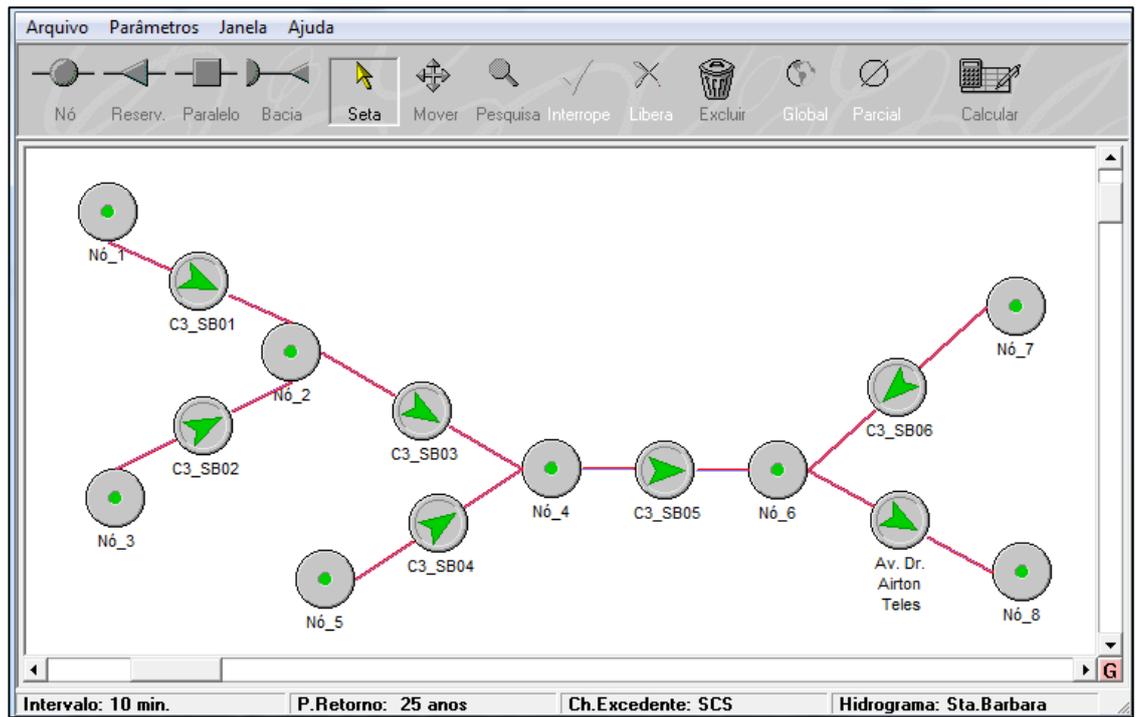
CENÁRIO C1



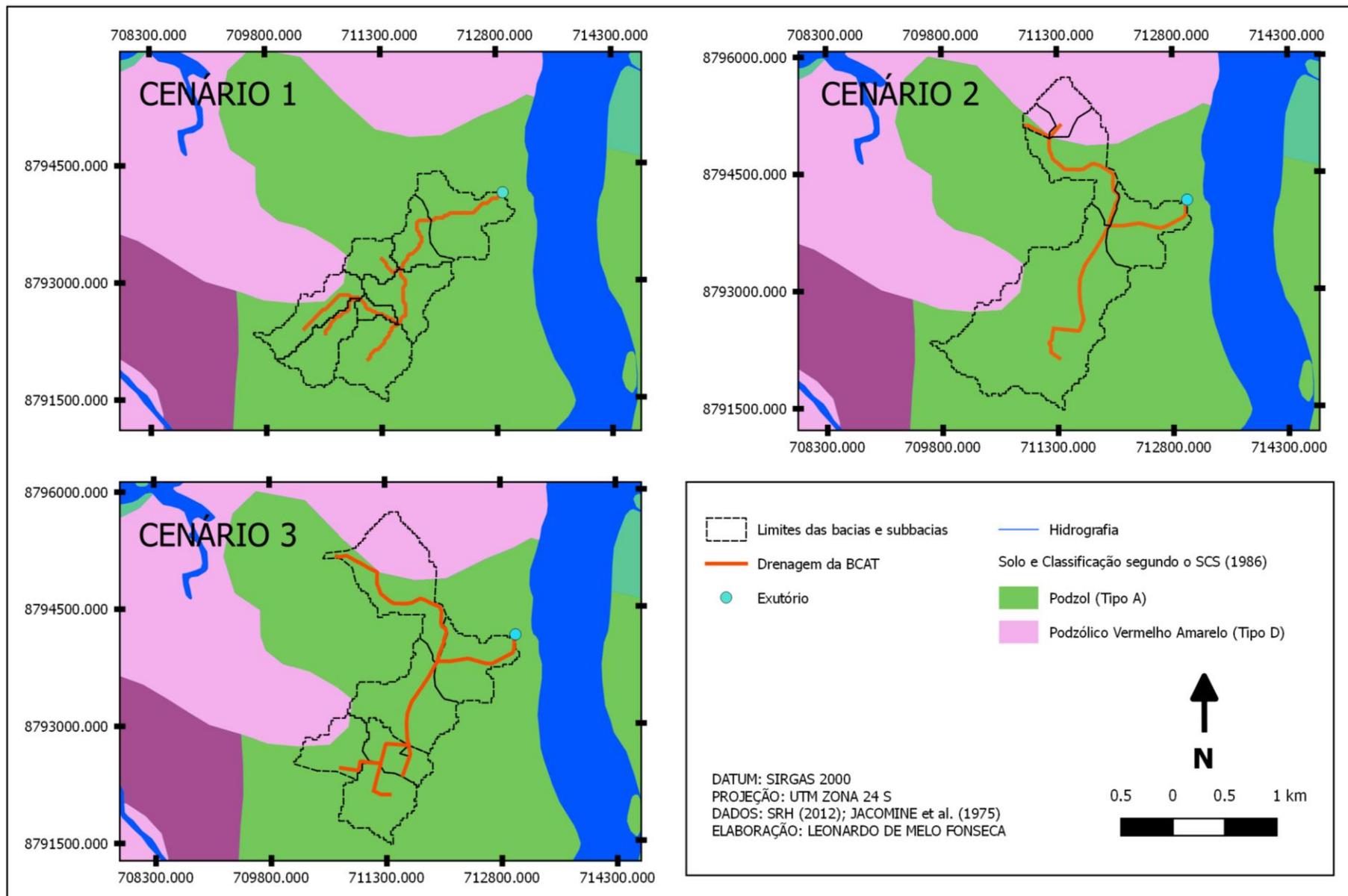
CENÁRIO C2



CENÁRIO C3



APÊNDICE C - Mapa de solos na área de estudo



APÊNDICE D – Características dos lotes na BCAT

CENÁRIO C2

Subbacia	Bairros inseridos nas subbacias	% de contribuição de cada bairro nas subbacias	Ocupação predominante segundo Pinheiro e Santos (2012)
C3_SB01	-	-	Residencial
C3_SB02	-	-	Residencial
C3_SB03	-	-	Residencial
C3_SB04	-	-	Residencial
C3_SB05	Centro	25	Comercial/Serviços
	Outros	75	Residencial

CENÁRIO C3

Subbacia	Bairros inseridos nas subbacias	% de contribuição de cada bairro nas subbacias	Ocupação predominante por bairro
C3_SB01	América	20	Residencial
	Siqueira Campos	80	Comercial/Serviços
C3_SB02	Siqueira Campos	10	Comercial/Serviços
	Cirurgia	5	Residencial
	Pereira Lobo	45	Residencial
	Suissa	40	Residencial
C3_SB03	Cirurgia	75	Residencial
	Getúlio Vargas	5	Residencial
	Siqueira Campos	20	Comercial/Serviços
C3_SB04	Cirurgia	85	Residencial
	Suissa	15	Residencial
C3_SB05	Siqueira Campos	15	Comercial/Serviços
	Cirurgia	5	Residencial
	Getúlio Vargas	70	Residencial
	18 do Forte	5	Residencial
	Santo Antônio	5	Residencial
C3_SB06	Japãozinho	5	Residencial
	Cidade Nova	20	Residencial
	18 do Forte	25	Residencial
	Palestina	25	Residencial
	Santo Antônio	25	Residencial
C3_SB07	Santo Antônio	45	Residencial
	Getúlio Vargas	20	Residencial
	Centro	20	Comercial/Serviços
	Industrial	15	Residencial

APÊNDICE E – Cálculo do CN médio

CENÁRIO C1

Subbacia	Área Permeável (km ²)	Área Impermeável (km ²)	CN _{médio}
C1_SB01	0,4999	0,0555	48
C1_SB02	0,4424	0,0492	48
C1_SB03	0,6377	0,0709	48
C1_SB04	0,0964	0,0107	48
C1_SB05	0,2681	0,0298	48
C1_SB06	0,5210	0,0579	48
C1_SB07	0,2968	0,0742	49
C1_SB08	0,4164	0,4164	54
Total	3,1787	0,7646	
Total (%)	80,6	19,4	

CENÁRIO C2

Subbacia	Área (km ²)						CN _{médio}
	Área Permeável		Área Impermeável				
	Vegetação	Solo Exposto	Lotes		Vias		
			Residencial	Comercial	Paralelo	Piçarra	
C2_SB01	0,1397	1,0166	1,6848	0	0	0,2710	72
C2_SB02	0,0424	0,1177	0,1110	0	0	0,0299	68
C3_SB03	0,0131	0,0127	0,0750	0	0	0,0132	71
C2_SB04	0,0673	0,2028	0,4471	0	0	0,0749	71
C2_SB05	0,0169	0,0570	0,4058	0,1353	0,0925	0	77
TOTAL	0,2794	1,4068	2,7237	0,1353	0,0925	0,3891	
TOTAL (%)	5,6	28,0	54,2	2,7	1,8	7,7	

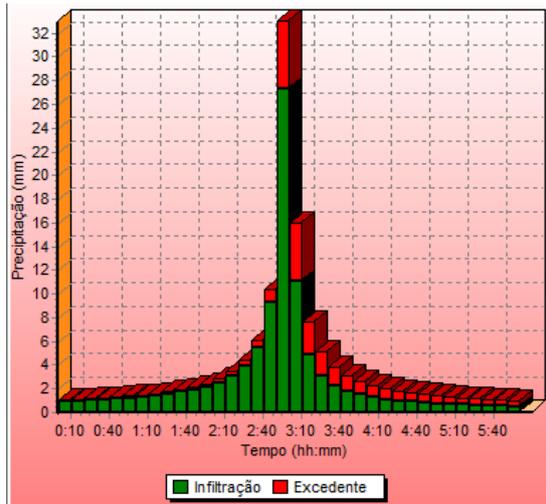
CENÁRIO C3

Subbacia	Área (km ²)							CN _{médio}
	Área permeável		Área Impermeável					
	Vegetação	Solo exposto	Lotes		Vias			
			Residencial	Comercial	Asfalto	Paralelo	Piçarra	
C3_SB01	0,0062	0,0223	0,0803	0,3210	0,0573	0,0088	0	84
C3_SB02	0,0023	0,0347	0,4614	0,0513	0,0709	0,0360	0,0017	79
C3_SB03	0,0003	0,0061	0,1776	0,0444	0,0311	0,0048	0	81
C3_SB04	0	0,0028	0,0896	0,0158	0,0237	0,0030	0	81
C3_SB05	0,0151	0,0478	0,6764	0,1194	0,1285	0,0053	0	80
C3_SB06	0,0287	0,0679	0,9530	0	0,1438	0,0576	0,0079	78
C3_SB07	0,0062	0,0014	0,4689	0,1172	0,0937	0,0204	0	81
Total	0,0587	0,1830	2,9072	0,6691	0,5491	0,1358	0,0096	
Total (%)	1,3	4,1	64,5	14,8	12,1	3,0	0,2	

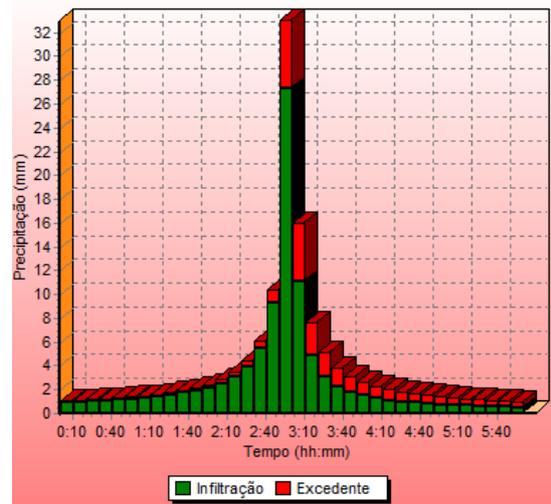
APÊNDICE F – Hietogramas de cada subbacia

CENÁRIO C1

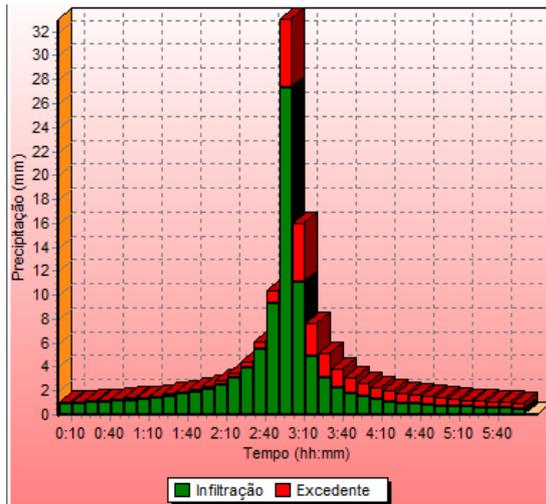
C1_SB01



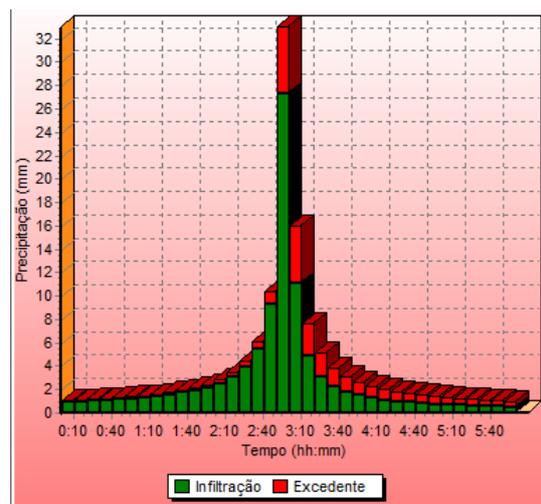
C1_SB02



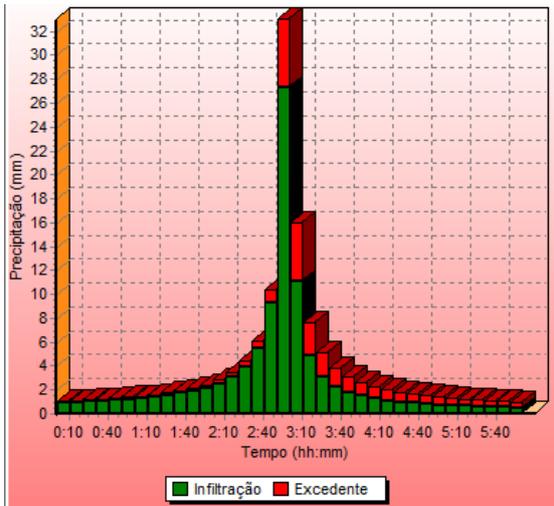
C1_SB03



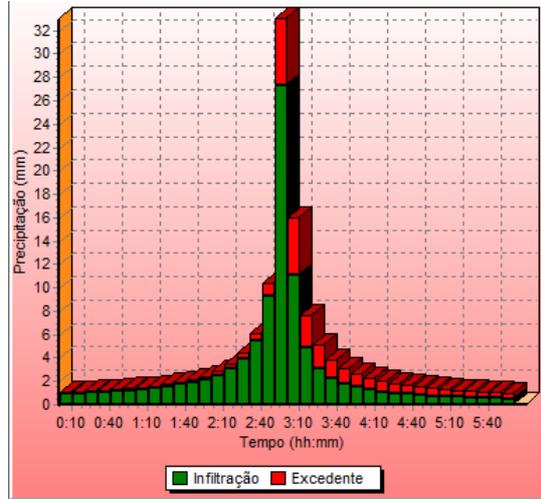
C1_SB04



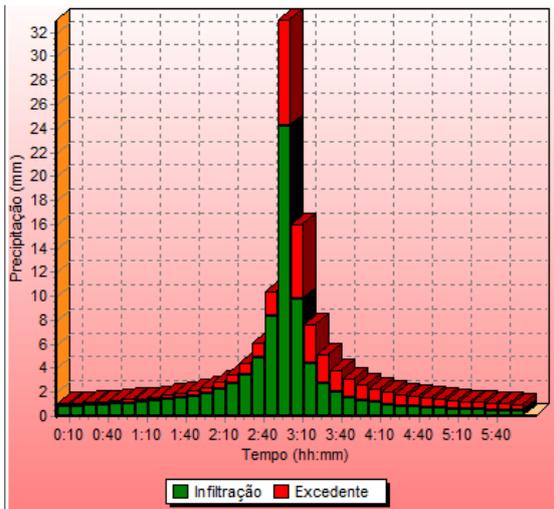
C1_SB05



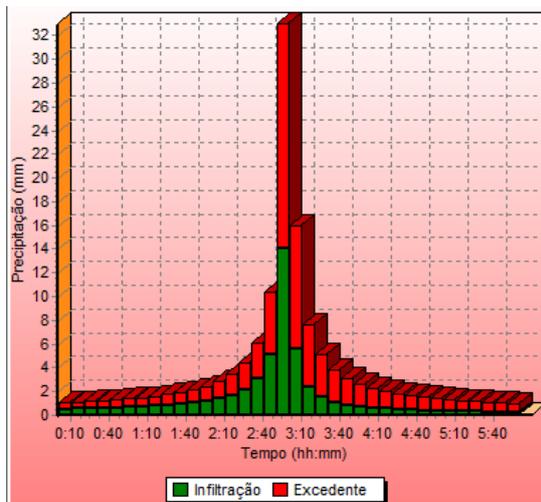
C1_SB06



C1_SB07

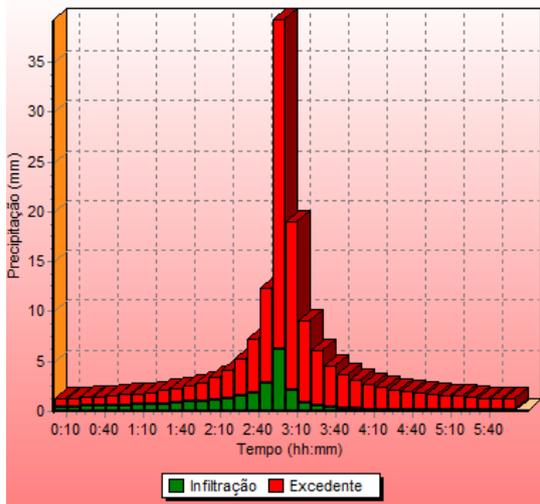


C1_SB08 (Av. Dr. Airton Teles)

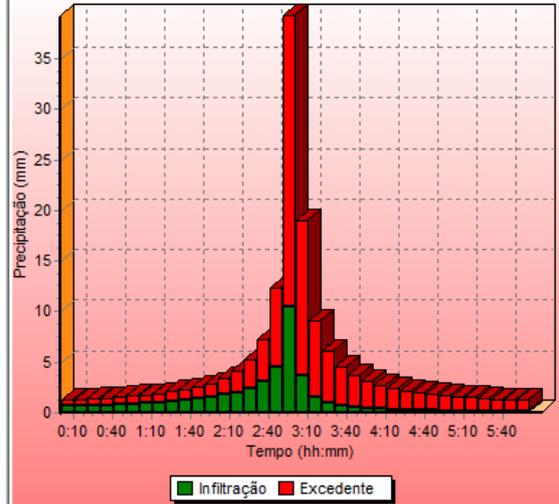


CENÁRIO C2

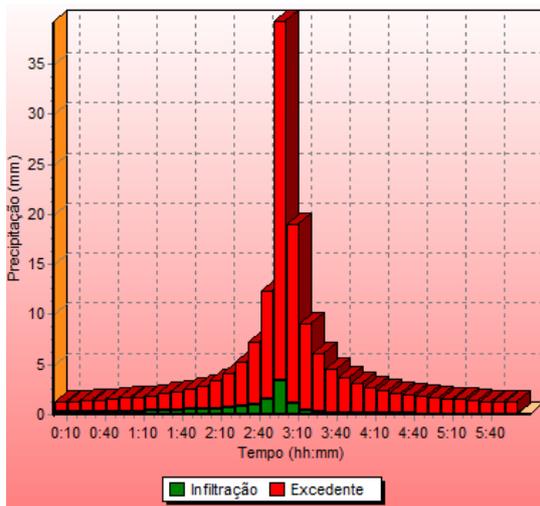
C2_SB01



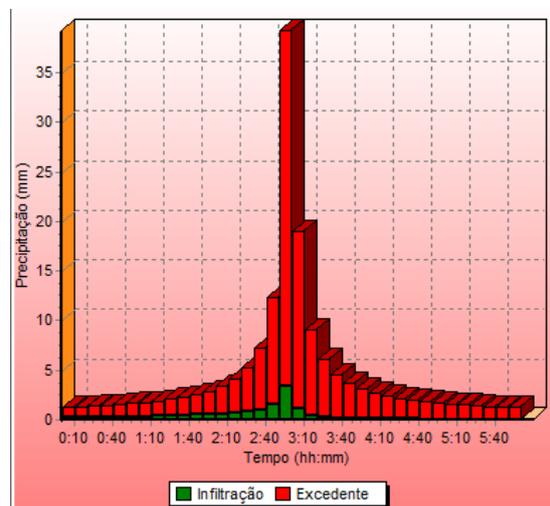
C2_SB02



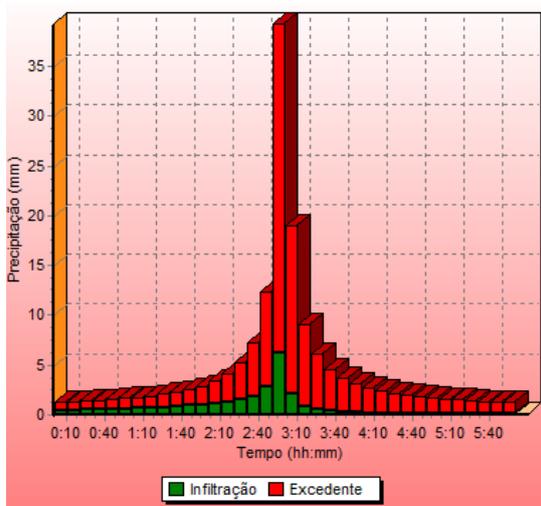
C2_SB03



C2_SB04

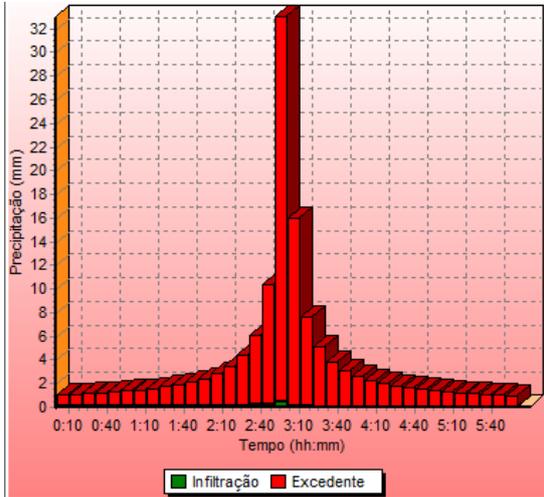


C2_SB05 (Av. Dr. Airton Teles)

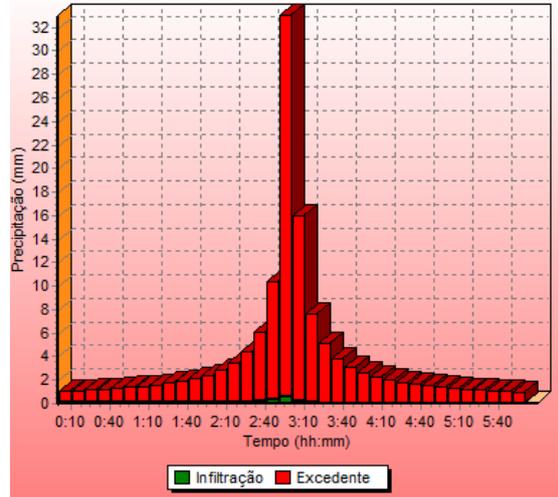


CENÁRIO C3

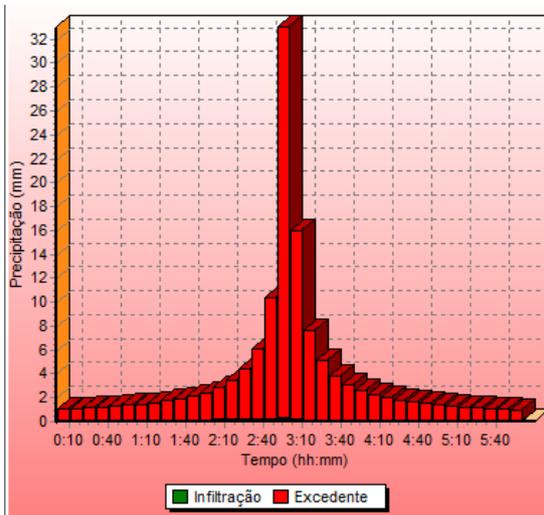
C3_SB01



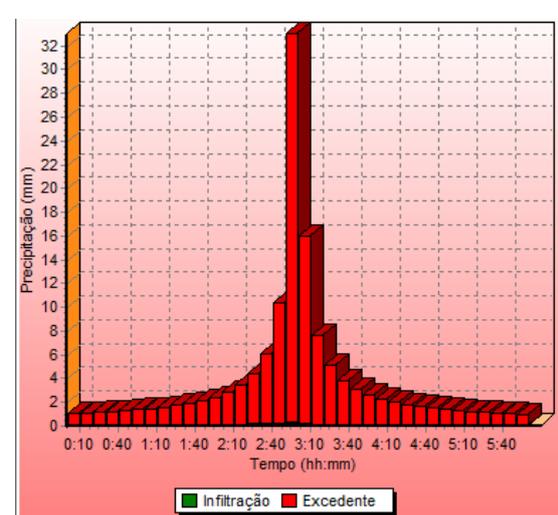
C3_SB02



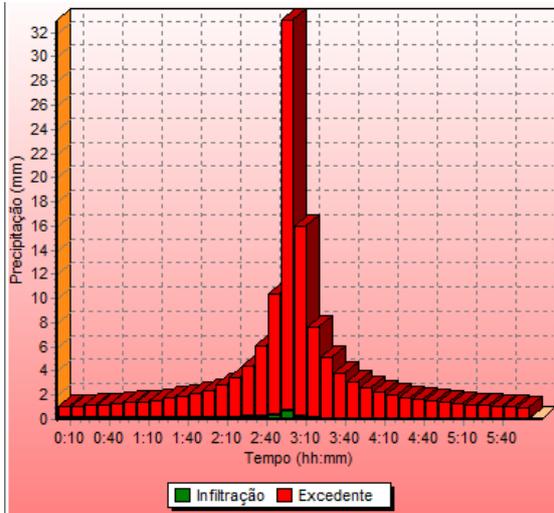
C3_SB03



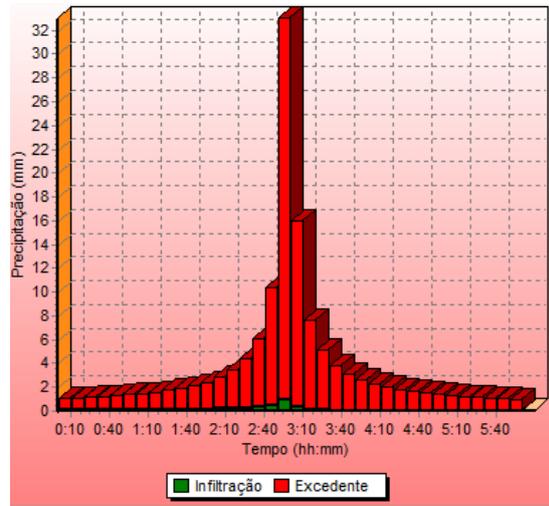
C3_SB04



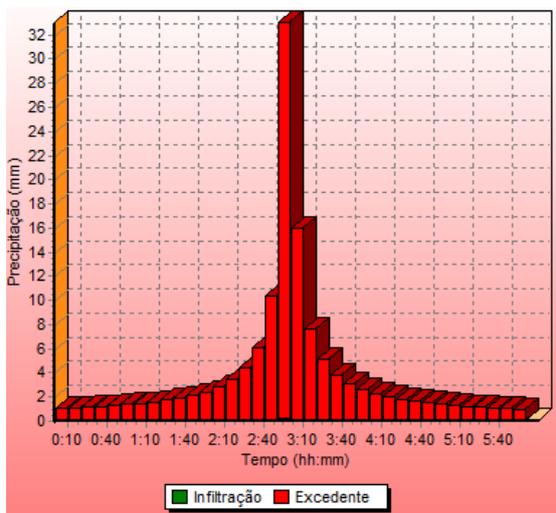
C3_SB05



C3_SB06

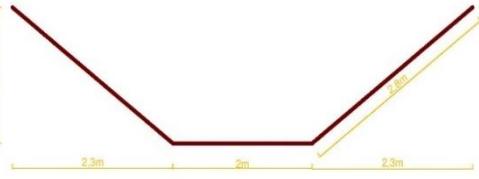
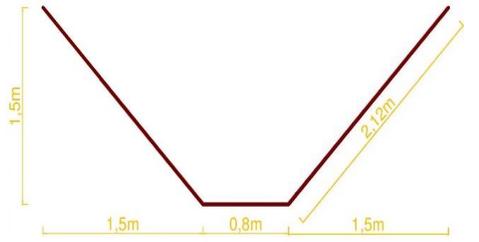
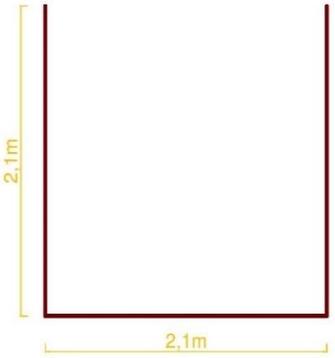


C3_SB07 (Av. Dr. Airton Teles)



**APÊNDICE G – Quadro com as informações levantadas em campo dos canais de
macro drenagem da região de estudo**

Canal	Trecho	Tipo de revestimento e condições dos canais	Corte transversal e medidas médias da seção
Alan Kardec	(I) Travessa Amapá	Pedra argamassada nas margens e concreto no fundo	<p>Diagrama de corte transversal de um canal em forma de U invertido. O fundo plano tem 1m de largura. As margens laterais têm 0,5m de largura cada. O declive das margens é de 1,3m. A altura total do canal é de 1,2m.</p>
Alan Kardec	(III) Avenida Alan Kardec	Concreto sem acabamento	<p>Diagrama de corte transversal de um canal em forma de U invertido. O fundo plano tem 1,4m de largura. As margens laterais têm 1,35m de largura cada. O declive das margens é de 2,05m. A altura total do canal é de 1,6m.</p>
Alan Kardec	(II) Rua Ten. Wendel Quaranta	Concreto sem acabamento	<p>Diagrama de corte transversal de um canal retangular. A largura do canal é de 2,5m e a altura é de 2,5m.</p>

<p>Alan Kardec</p>	<p>(IV) Rua Maruim</p>	<p>Concreto sem acabamento</p>	
<p>Gentil Tavares</p>	<p>Avenida Gentil Tavares entre a Avenida Desembargador Maynard e a Avenida Dr. Airton Teles</p>	<p>Concreto sem acabamento</p>	
<p>Comandante Miranda</p>	<p>Avenida Airton Teles entre as Avenidas Airton Teles e Visconde de Maracaju, e a própria Avenida Visconde de Maracaju</p>	<p>Concreto sem acabamento</p>	
<p>Airton Teles</p>	<p>Avenida Airton Teles</p>	<p>Concreto sem acabamento</p>	

APÊNDICE H - Tabela com o cálculo do tempo de concentração (tc) para todos os trechos de escoamento

CENÁRIO C1

Subbacia	Tipo de escoamento	Comprimento do trecho(m)	H máxima (m)	H mínima (m)	ΔH (m)	Declividade (m/m)	Tipo de escoamento	Uso do solo ou tipo do canal	Velocidade (m/s)	tc (min)
C1_SB01	Vertente	729	32	11	21	0,029	não canalizado	bosques e florestas	0,6	20,3
C1_SB01	Drenagem	939	11	10	1	0,001	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	26,1
C1_SB02	Vertente	900	13	10	3	0,003	não canalizado	bosques e florestas	0,5	30,0
C1_SB02	Drenagem	727	10	9	1	0,001	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	20,2
C1_SB03	Vertente	719	12	9	2	0,003	não canalizado	bosques e florestas	0,5	24,0
C1_SB03	Drenagem	657	9	8,5	0,5	0,001	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	18,3
C1_SB04	Drenagem	635	11	9	2	0,003	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	17,6
C1_SB05	Vertente	447	14	10	4	0,009	não canalizado	bosques e florestas	0,5	14,9
C1_SB05	Drenagem	365	10	6,5	3,5	0,010	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	10,1
C1_SB06	Drenagem	809	7	6,5	0,5	0,001	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	22,5
C1_SB07	Drenagem	942	6,5	6	0,5	0,001	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	26,2
C1_SB08	Drenagem	1047	6	4	2	0,002	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	29,1

CENÁRIO C2

Subbacia	Tipo de escoamento	Comprimento do trecho (m)	H máxima (m)	H mínima (m)	ΔH (m)	Declividade (m/m)	Tipo de escoamento	Uso do solo ou tipo do canal	Velocidade (m/s)	t_c (min)
C2_SB01	Não canalizado	2026	14	8	6	0,003	não canalizado	Terrenos urbanizados	2,6	13,0
C2_SB01	Canal	1826	8	6	2	0,001	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	50,7
C2_SB02	Não canalizado	738	46	25	21	0,028	não canalizado	Terrenos urbanizados	2,6	4,7
C2_SB02	Canal	220	25	24	1	0,005	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	6,1
C2_SB03	Não canalizado	305	62	35	27	0,089	não canalizado	Terrenos urbanizados	4,1	1,2
C2_SB03	Canal	341	35	24	11	0,032	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	9,5
C2_SB04	Canal	1901	24	6	18	0,009	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	52,8
C2_SB05	Canal	1233	6	3	3	0,002	canalizado	Canal natural mal definido	0,6	34,3

CENÁRIO C3

Trecho	Subbacia	Tipo de escoamento	Comprimento do trecho (m)	H max (m)	H min (m)	ΔH (m)	Declividade (m/m)	Uso do solo ou revestimento do canal	Geometria do canal	n de Manning	constante k	Área molhada (m ²)	Perímetro molhado (m)	RH (m)	Velocidade	t _c (min)
Trecho A	C3_SB01	Não canalizado	752	13	11	2	0,00266	Canaleta pavimentada	-	-	14,09	-	-	-	0,73	17,2
Canal Alan Kardec	C3_SB01	Canal	623	8,28	4,5	3,78	0,00607	Pedra argamassada (margens) e concreto (fundo)	hexagonal irregular	0,020	-	3,80	5,60	0,68	3,01	3,5
Trecho B	C3_SB02	Não canalizado	797	10,5	9,5	1	0,00125	Canaleta pavimentada	-	-	14,09	-	-	-	0,50	26,6
Canal Alan Kardec	C3_SB02	Canal	221	4,76	4,51	0,25	0,00113	Concreto sem acabamento	retangular	0,017	-	6,25	7,50	0,83	1,75	2,1
Canal Alan Kardec	C3_SB02	Canal	360	4,51	4,5	0,01	0,00003	Concreto sem acabamento	trapezoidal	0,017	-	3,44	4,60	0,75	0,26	23,5
Canal Alan Kardec	C3_SB03	Canal	560	4,5	3,4	1,1	0,00196	Concreto sem acabamento	trapezoidal	0,017	-	6,88	7,60	0,78	2,22	4,2
Trecho C	C3_SB04	Não canalizado	358	17	9	8	0,02235	Canaleta pavimentada	-	-	14,09	-	-	-	2,11	2,8
Canal Gentil Tavares	C3_SB04	Canal	403	*3,41	3,4	-	-	Concreto sem acabamento	trapezoidal	-	-	-	-	-	-	-
Canal Gentil Tavares	C3_SB05	Canal	1189	3,4	1,45	1,95	0,00164	Concreto sem acabamento	trapezoidal	0,017	-	3,45	4,40	0,78	2,03	9,8
Trecho D	C3_SB06	Não canalizado	1011	46	23	23	0,02275	Canaleta pavimentada	-	-	14,09	-	-	-	2,13	7,9
Canal Com.Miranda	C3_SB06	Canal	2466	25,45	1,45	24	0,00973	Concreto sem acabamento	retangular	0,017	-	4,41	6,30	0,70	4,58	9,0
Canal Airton Teles	C3_SB07	Canal	1262	1,45	0,35	1,1	0,00087	Concreto sem acabamento	trapezoidal	0,017	-	5,63	6,36	0,89	1,60	13,1

APÊNDICE I – Imagens das abas de inserção de dados no ABC 6

Bacia: C3_SB03

Dados da Bacia | Precipitação | Infiltração

Características Físicas

Área (km²): 0,260
 Área Impermeável (%): 97,5
 Área Diretamente Conectada (%): 97,5 } $\text{áimp} \geq \text{Adr}$

Tempo de Concentração

Tempo de Concentração (h): 0,09
 Calculado por: Usuário Equações Empíricas

Dados do Canal

Comprimento (m): 560,0
 Velocidade (m/s): 2,22
 Tempo de Trânsito da Onda de Cheia (h): 0,07
 Coeficiente de Amortecimento (0<math>\leq x < 0,5)</math>: 0,25000

Ok Cancelar

Intervalo: 10 min. P.Retorno: 10 anos Ch.Excedente: SCS Hidrograma: Sta.Barbara

Equações IDF: C3_SB03

Estado: SE
 Localidade: Aracaju
 Fonte: Ricardo de Araújo et al. (Agnambi, 2012)

Coefficientes:

K: 20,848
 n: 0,188
 Do: 10,520
 m: 0,753

Duração da Chuva (min): 360
 Coeficiente de Redução Espacial: 1,000

Ok Cancelar

Bacia: C3_SB03

Dados da Bacia | **Precipitação** | Infiltração

Distribuição Temporal

	Tempo (hh:mm)	Precipitação (mm)
1	0:10	1,04
2	0:20	1,09
3	0:30	1,15
4	0:40	1,21
5	0:50	1,29
6	1:00	1,38
7	1:10	1,48
8	1:20	1,60
9	1:30	1,74
10	1:40	1,92
11	1:50	2,14
12	2:00	2,44
13	2:10	2,84

Carregar Curvas IDF
 Ajuste Estatístico

Dados da Chuva

Localidade: Aracaju (SE)
 Duração (min): 360
 P.Retorno (anos): 10

Ok Cancelar

Intervalo: 10 min. P.Retorno: 10 anos Ch.Excedente: SCS Hidrograma: Sta.Barbara

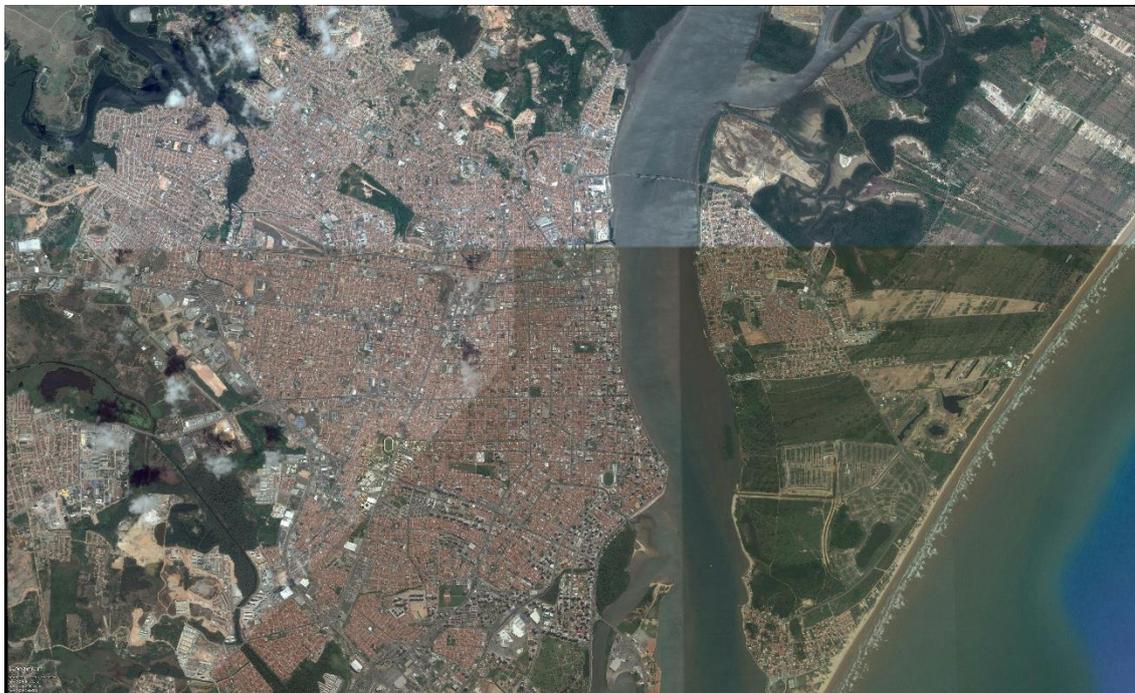
ANEXOS

ANEXO A – Levantamento dos pontos de alagamentos e deslizamentos de encostas na cidade de Aracaju

ANEXO B – Imagem aérea “bruta” de Aracaju da década de 70 utilizada para classificação visual (SEPLAG, s. d.)



**ANEXO C – Imagem de satélite “bruta” de Aracaju do ano de 2014 utilizada para
classificação visual**



ANEXO D – Perfis de solo da região em estudo

PERFIL 1 – SOLO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO	
Número de Campo	84 SE (Zona do litoral)
Data de coleta	07/09/73
Classificação	Podzólico vermelho amarelo Tb plinthico A moderado textura média/argilosa
Localização	Estrada Aracaju-Estância (BR-101) Município de São Cristóvão.
Situação e declividade	5-6%
Formação Geológica e litologia	Terciário – Grupo Barreiras. Sedimentos
Material originário	Sedimentos argilo-arenosos
Relevo local	Suave-ondulado
Altitude	50 metros
Drenagem	Moderada a imperfeitamente drenado
Vegetação local	Campo cerrado com lixeira, caju e gramíneas de folhas rígidas
Uso do solo atual	Pastagem natural muito precária

Composição Granulométrica								
Horizonte		Frações da amostra total			Granulometria da porção fina			
Símbolo	Profundidade	Calhaus >20 mm	Cascalho 20 – 2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia Grossa 2–0,20 mm	Areia Fina 0,20-0,05mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm
A	0 – 20	0	1	99	23	34	12	31
B2t	40 -70	0	1	99	20	22	10	48
B3tpl	70 - 90	0	1	99	25	19	9	47
Cpt	90 – 120+	0	1	99	22	17	11	50

PERFIL 2 – SOLO PODZOL	
Número de Campo	85 SE (Zona do litoral)
Data de coleta	08/08/73
Classificação	Podzol A proeminente textura arenosa
Localização	Estrada Umbaúba-Estância, a 9 km de Umbaúba. Município de Santa Luzia do Itanhi.
Situação e declividade	0-2%
Formação Geológica e litologia	Terciário – Grupo Barreiras. Sedimentos
Material originário	Sedimentos arenosos
Relevo local	Plano (depressão rasa sobre tabuleiro)
Altitude	95 metros
Drenagem	Imperfeitamente drenado
Vegetação local	Formação secundária
Uso do solo atual	Cultura de mandioca

Composição Granulométrica								
Horizonte		Frações da amostra total			Granulometria da porção fina			
Símbolo	Profundidade	Calhaus >20 mm	Cascalho 20 – 2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia Grossa 2–0,20 mm	Areia Fina 0,20-0,05mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm
A1	0 – 12	0	0	100	74	16	5	5
A2	12 – 40	0	1	99	66	21	5	8
A3	40 – 70	0	2	98	53	23	9	15
B1h	70 – 115	0	4	96	47	29	15	9
B21irh	115 – 116	0	5	95	59	19	13	9
B22irx	116 – 150	0	3	97	51	22	17	10

ANEXO E – Tipo de ocupação por bairro em Aracaju segundo levantamento de campo por observação direta realizado por FONSECA *et al.* (2011)

Bairro	Tipo de ocupação				
	Residencial	Comercial	Serviços	Industrial	Outros (serviços essenciais)
Aeroporto	70	10	5	5	10
America	75	10	7	3	5
Atalaia	60	10	20	5	5
Bugio	85	8	4	2	1
Capucho	2	8	10	0	80
Centro	5	45	35	5	10
Cidade Nova	80	10	5	2	3
Cirurgia	90	5	3	1	1
Coroa do meio	70	10	15	2	3
Dezoito do Forte	78	10	6	1	5
Farolândia	83	8	5	1	3
Getúlio Vargas	60	18	15	2	5
Grageru	80	3	2	10	5
Inácio Barbosa	25	20	5	30	20
Industrial	40	10	10	30	10
Jabotiana	75	10	8	1	6
Jardim Cetenário	90	5	2	1	2
Jardins	74	15	5	1	5
José Conrado de Araújo	75	10	10	1	4
Lamarão	80	6	11	1	2
Luzia	80	9	5	3	3
Novo Paraíso	85	6	4	2	3
Olaria	85	5	3	2	5
Palestina	86	5	3	1	5
Pereira Lobo	86	5	4	4	1
Ponto Novo	80	9	5	3	3
Porto Dantas	80	5	2	1	2
Salgado Filho	40	12	30	1	17
Santa Maria	85	6	2	2	5
Santo Antônio	82	7	4	2	5
Santos Dumont	78	10	9	2	1
São Conrado	80	15	3	1	1
São José	30	16	15	4	35
Siqueira Campos	35	40	20	3	2
Soledade	95	3	2	0	0
Suissa	80	8	8	2	2
Treze de Julho	35	30	20	5	10
Zona de Expansão	90	5	2	2	1

