



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
NA MICROBACIA JUAZEIRO DO NORTE - CE**

GABRIELLY SILVA MATEUS

POMBAL - PB

2023

GABRIELLY SILVA MATEUS

ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA
MICROBACIA JUAZEIRO DO NORTE - CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador(a): Prof(a). Dr^a. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro

POMBAL - PB

2023

M425a Mateus, Gabrielly Silva.

Análise dos efeitos do uso e ocupação do solo na microbacia
Juazeiro do Norte - CE / Gabrielly Silva Mateus. – Pombal, 2023.
58 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Prof. Dra. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro”.
Referências.

1. Planejamento urbano. 2. Drenagem urbana. 3. Alagamentos. I.
Ribeiro, Rosinete Batista dos Santos. II. Título.

CDU 711.4 (043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

GABRIELLY SILVA MATEUS

TÍTULO DO TRABALHO

Trabalho de Conclusão de Curso do discente GABRIELLY SILVA MATEUS **APROVADO** em 03 de fevereiro de 2023 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.

Registre-se e publique-se.



Profa. Dr^a. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro
(Orientadora - UFCG)



Prof^a. Dr^a. Nayara Ângelo Gomes
(Membro Interno - UFCG)



Engenheira Ana Karolayne de Brito Andrade
(Membro Externo - Construtora Alliance)

Dedico à minha mãe, Djanira Furtado, pelo apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me permitir enfrentar os desafios dos últimos anos e me fazer acreditar nesse trabalho.

Aos meus pais e irmão que acompanharam os desafios para desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Dr^a Rosinete Batista, orientadora do trabalho, por todo apoio, dedicação e conhecimentos transmitidos, uma das pessoas responsáveis pelo meu interesse na área.

Aos professores da Universidade Federal de Campina de Grande, *campus Pombal-PB*, por todo conhecimento transmitido.

Aos amigos Jaciara Medeiros, Valderisso Alfredo, Izabele Oliveira, Vitória Vieira, José Pedro, Virginia Brito, Camila Fragoso, Ialy Diniz, Raquel Patriota, Bruno Medeiros, Hosana Santos, Washington Luiz e a todos aqui não citados, por todos apoios e contribuições durante toda graduação.

Ao Movimento Empresa Júnior, em especial a Pórtico Engenharia Júnior e a Federação Paraibana de Empresas Juniores (*PB Júnior*), pela contribuição no meu desenvolvimento pessoal e profissional durante três anos da graduação.

RESUMO

O acelerado crescimento das áreas urbanas tem como consequência a redução da permeabilidade do solo, fator que acarreta o surgimento de problemas de drenagem urbana. Vários centros urbanos do Brasil sofrem com cheias e inundações devido à falta de planejamento urbano, um exemplo é a cidade de Juazeiro do Norte, localizada no estado do Ceará, que enfrenta recorrentes alagamentos, pondo em risco a vida e a saúde de seus habitantes. Dessa forma, este estudo teve como objetivo identificar os problemas de uso e ocupação do solo decorrentes do acelerado processo de urbanização da cidade de Juazeiro do Norte-CE, utilizando os métodos Soil Conservation Service (SCS) e Santa Bárbara. Para o desenvolvimento do estudo foram considerados três cenários, que contemplam os anos de: 1991, 2006 e 2021. Inicialmente determinou-se o uso e ocupação do solo em cada cenário, utilizando o software QGis. Em seguida, definiu-se a equação de chuvas intensas (método de Gumbel) e chuvas excedentes (método de Huff). Por fim, analisou-se os impactos do crescimento urbano na sub-bacia hidrográfica de Juazeiro do Norte, por meio da verificação das vazões de projeto determinadas pelos métodos SCS e Santa Bárbara. Com o estudo de uso e ocupação do solo, foi possível constatar que ao longo dos anos houve um aumento significativo da área urbana (crescimento de 35% de 2006 a 2021), fator que contribuiu para o aumento da área impermeável e redução do tempo de concentração da sub-bacia hidrográfica. No estudo das vazões de projeto, verificou-se que tanto para o método SCS como para o método Santa Bárbara, há um aumento da vazão de pico ao longo dos anos. A partir desses resultados, foi possível constatar que o processo de urbanização contribuiu para a diminuição das áreas permeáveis da microbacia de Juazeiro do Norte-CE, tendo como consequência o aumento das vazões de projeto, responsável pelos alagamentos na cidade.

Palavras-chave: Planejamento urbano. Drenagem urbana. Alagamentos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Inundações em Juazeiro do Norte-CE	12
Figura 2 - Imagens de ruas inundadas em Juazeiro do Norte-CE	13
Figura 3 - Fases atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico	15
Figura 4 - Processo de canalização em áreas de inundação	18
Figura 5 - Mapa de localização do município de Juazeiro do Norte	24
Figura 6 - Distribuição de Huff para 1º Quartil	32
Figura 7 -Tipo de solo da microbacia Juazeiro do Norte-CE	40
Figura 8 - Cenários de uso e ocupação do solo da microbacia de Juazeiro do Norte-CE	41
Figura 9 - Hietograma de chuvas excedentes para o cenário de 1991	44
Figura 10 - Hietograma de chuvas excedentes para o cenário de 2006	45
Figura 11 - Hietograma de chuvas excedentes para o cenário de 2021	45
Figura 12 - Mapa de declividade da sub-bacia de Juazeiro do Norte-CE	46
Figura 13 - Talvegue escolhido para a microbacia de Juazeiro do Norte-CE	47
Figura 14 - Hidrograma Unitário pelo método SCS para os cenários	48
Figura 15 - Hidrograma de cheia pelo método SCS para o cenário de 1991	49
Figura 16 - Hidrograma de cheia pelo método SCS para o cenário de 2006	49
Figura 17- Hidrograma de cheia pelo método SCS para o cenário de 2021	49
Figura 18 - Hidrograma de cheia pelo método Santa Bárbara para o cenário	50
Figura 19 - Hidrograma de cheia pelo método Santa Bárbara para o cenário de 2006	51
Figura 20 - Hidrograma de cheia pelo método Santa Bárbara para o cenário de 2021	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da pesquisa “Avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento superficial por meio de simulação hidrológica”	23
Tabela 2 - Coeficiente de desagregação de chuvas para diferentes durações	27
Tabela 3 - Tabela simplificada dos valores de CN	30
Tabela 4 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas	30
Tabela 5 - Valores de CN para bacias rurais	31
Tabela 6 - Curvas acumuladas de Huff para o 1º Quartil	33
Tabela 7 - Fórmulas tempo de concentração adotados	34
Tabela 8 - Hidrograma unitário curvilíneo adimensional do SCS de McCuen	36
Tabela 9 - Análise das mudanças do uso e ocupação do solo	39
Tabela 10 - Dados de precipitação a partir da relação IDF	42
Tabela 11 - CN para os diferentes cenários de uso e ocupação do solo	43
Tabela 12 - CN médio para cada cenário de uso e ocupação do solo	44
Tabela 13 - Área impermeável da sub-bacia de Juazeiro do Norte-CE	46
Tabela 14 - Tempo de concentração os cenários de 1991, 2006 e 2021	47
Tabela 15 - Dados de área impermeável e coeficiente de retardo da sub-bacia	50
Tabela 16 - Diagnóstico das vazões para cada cenário avaliado	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Distribuição de classes de declividade	25
Quadro 2 - Classificação do tipo de solo em grupos	29

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1.	Justificativa	13
1.2.	Objetivos.....	14
1.2.1.	<i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	14
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1.	<i>Processo de urbanização e seu efeito no ciclo hidrológico</i>	15
2.1.1.	<i>Aceleração do processo de urbanização</i>	15
2.1.2.	<i>Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico</i>	15
2.2.	<i>Drenagem urbana</i>	17
2.2.1.	<i>Microdrenagem e Macrodrenagem</i>	19
2.2.2.	<i>A urbanização acelerada e seu impacto nas microbacias urbanas</i>	21
2.3.	<i>Estudo Hidrológico</i>	22
2.3.1.	<i>Precipitação</i>	22
2.3.2.	<i>Chuvas intensas</i>	22
2.3.3.	<i>Vazão de projeto pelo Método SCS</i>	23
2.3.4.	<i>Vazão de projeto pelo Método Santa Bárbara</i>	23
2.4.	<i>Pesquisas desenvolvidas sobre o tema</i>	24
3.	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1.	<i>Diagnóstico das principais mudanças no território da microbacia</i>	25
3.1.1.	<i>Área de estudo</i>	25
3.1.2.	<i>Determinação do uso e ocupação do solo</i>	26
3.1.3.	<i>Estudo hidrológico e fisiógrafo</i>	26
3.2.	<i>Determinação da equação de chuvas intensas e chuvas excedentes para a microbacia</i>	27
3.2.1.	<i>Chuvas intensas</i>	27
3.2.2.	<i>Número de deflúvio (CN)</i>	29
3.2.3.	<i>Chuva excedente</i>	33
3.3.	<i>Análise dos efeitos do avanço da urbanização</i>	34
3.3.1.	<i>Tempo de concentração</i>	35
3.3.2.	<i>Determinação de vazão pelo Método SCS</i>	36
3.3.3.	<i>Determinação de vazão pelo método Santa Bárbara</i>	38

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1.	<i>Diagnóstico das principais mudanças no território da microbacia....</i>	40
4.1.1.	<i>Caracterização dos cenários</i>	40
4.2.	<i>Determinação da equação de chuvas intensas e chuvas excedentes para a microbacia.....</i>	43
4.2.1.	<i>Chuva excedente</i>	43
4.3.	<i>Análise dos efeitos do avanço da urbanização.....</i>	47
4.3.1.	<i>Tempo de concentração.....</i>	47
4.3.2.	<i>Vazão de projeto pelo método SCS.....</i>	49
4.3.3.	<i>Vazão de projeto pelo método Santa Bárbara</i>	51
4.3.4.	<i>Diagnóstico dos efeitos das mudanças no território.....</i>	52
5.	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento das áreas urbanas é evidenciado no decorrer dos anos. Em 2012, a população urbana ocupava 50% do território mundial; 37% a mais que em 1900. E esta projeção continua, pois estima-se que em 2050, os centros urbanos mundiais irão abrigar 70% da população (TUCCI, 2012). Porém, o adensamento populacional urbano tem como consequência a diminuição das áreas permeáveis, alterando o escoamento das águas superficiais da bacia hidrográfica, resultando no incremento do volume escoado em sarjetas, bocas de lobo, canalizações e galerias do sistema de drenagem urbana (MONTES, 2012). Além disso, o desenvolvimento sem planejamento pode trazer problemas como a contaminação dos mananciais, disposição inadequada de esgotos sanitários e despejos pluviais e risco de erosão do solo em áreas degradadas por mau uso e ocupação do solo (TUCCI, 2012).

As consequências do crescimento desenfreado das áreas urbanas podem ser evidenciadas em várias regiões do Brasil, a exemplo das cidades de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte, localizadas na região do Cariri do estado do Ceará, que juntas formam o triângulo CRAJUBAR. Essas cidades partilham das mesmas características culturais e climáticas, diferenciando-se das outras sete cidades que formam a região do Cariri (GURGEL, 2012).

Dentre as cidades do triângulo CRAJUBAR, destaca-se Juazeiro do Norte com maior concentração populacional e também com frequentes problemas no sistema de drenagem urbana durante o período chuvoso.

Segundo Palácio (2021), Juazeiro do Norte-CE possui susceptibilidade média de ocorrência de alagamentos. E, de acordo com o IAS (Instituto de Água e Saneamento), que reúne as principais informações dos municípios brasileiros, Juazeiro do Norte não possui plano diretor de drenagem. Entretanto, no Portal da Prefeitura Municipal de Juazeiro do Norte-CE, é disponibilizado o Plano Diretor Municipal elabora em 2000, e ainda, apresenta plano de desenvolvimento de um novo plano director iniciado em 2022.

Diante do exposto, este estudo visa realizar o diagnóstico das principais consequências do processo de urbanização da cidade de Juazeiro do Norte – CE, através da análise das vazões de projeto da microbacia.

1.1. Justificativa

Uma das consequências do processo de urbanização é a impermeabilização do solo pela construção de ruas pavimentadas, construções de prédios, praças e outros; resultando no incremento do escoamento das águas superficiais por dutos e canais. O processo de impermeabilização produz o aumento das vazões máximas e inundações, provoca a produção de sedimentos para o sistema de drenagem e causa problemas nos condutos através do aumento dos resíduos sólidos. Conseqüentemente, aumenta a probabilidade de inundações devido à sobrecarga gerada no sistema de drenagem urbana (TUCCI, 2012).

A cidade de Juazeiro do Norte-CE, enfrenta diversos problemas nos períodos de maiores volumes de chuva. Inundações, ruas interditadas e até mesmo casas alagadas são consequências das falhas da drenagem urbana na cidade (Figura 1). No ano de 2018 foi decretado estado de emergência, na cidade, ao registrar 215 milímetros de chuva em 24h; ocasionando ruas alagadas, problemas de rompimentos em estradas e deixando inúmeras pessoas desabrigadas nas áreas afetadas (GLOBO, 2018).

Figura 1 - Inundações em Juazeiro do Norte-CE



Fonte: TV Verdes Mares (2022)

A presente pesquisa se justifica visto o cenário frequente de alagamentos no município de Juazeiro do Norte-CE. A fim de determinar os efeitos que o processo de urbanização, e conseqüente impermeabilização do solo, no escoamento superficial, visto que a combinação desses dois fatores no cenário de redução do primeiro e aumento do segundo culminam em inundações urbanas (Garcial, 2010).

Figura 2 - Imagens de ruas inundadas em Juazeiro do Norte-CE



Fonte: TV Verdes Mares (2022) e G1 (2020)

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

Identificar os problemas do uso e ocupação do solo, no que tange ao aumento da faixa urbana e conseqüente processo de impermeabilização do solo da cidade de Juazeiro do Norte-CE, através da análise das vazões de projeto da microbacia.

1.2.2. Específicos

- Fazer a classificação do uso e ocupação do solo em três cenários 1991, 2006 e 2021;
- Determinar os parâmetros de cálculo de vazões para os três cenários, apontando a equação de chuvas intensas e chuvas excedentes para a microbacia de Juazeiro do Norte-CE.
- Apontar os problemas no processo de uso e ocupação do solo devido ao acelerado escoamento superficial, decorrente da urbanização.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. *Processo de urbanização e seu efeito no ciclo hidrológico*

2.1.1. *Aceleração do processo de urbanização*

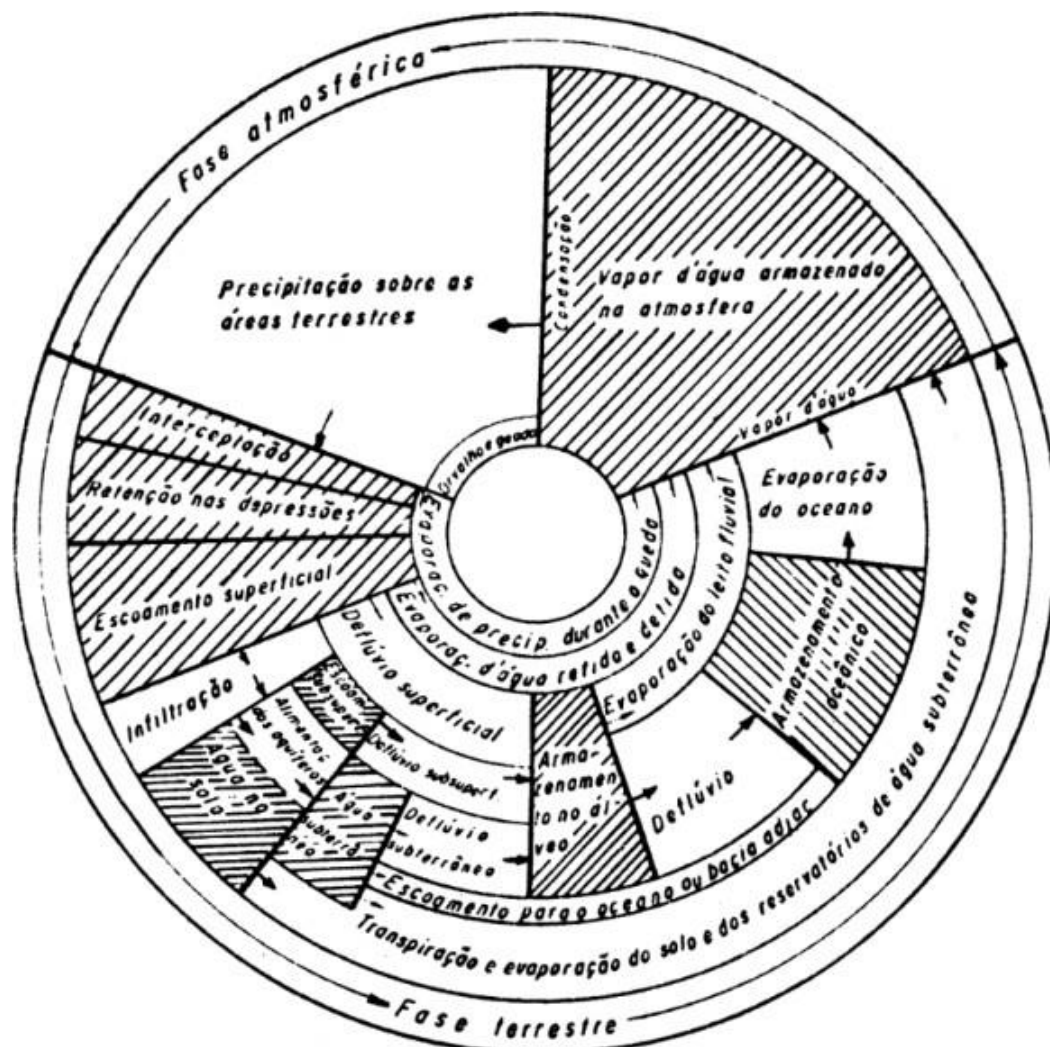
De acordo com Tucci (2007), nas últimas décadas o Brasil apresentou um crescimento significativo da população urbana, criando-se as chamadas regiões metropolitanas. A taxa de população urbana brasileira é de 80%, próxima à saturação. A aceleração da urbanização ocorreu depois da década de 60, gerando uma população urbana praticamente sem infraestrutura, principalmente na década de 80, quando os investimentos foram reduzidos.

Macedo (2021) considera que o crescimento desordenado e descontrolado das cidades e conseqüentemente, o elevado crescimento populacional nas áreas urbanas podem levar a vários tipos de destruição, como, por exemplo, a falta de planejamento, o investimento em infraestrutura, o crescimento habitacional instável e irregular em áreas perigosas, ribeirinhas, encostas e outros locais.

2.1.2. *Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico*

Segundo Garcez e Alvarez (1988), o ciclo hidrológico, como apresentado na Figura 3, pode ser dividido em duas fases: atmosférica e terrestre, incluindo em cada fase o armazenamento temporário de água, seu transporte e mudança de estado em um mesmo ciclo. Porém, para análise na engenharia hidráulica os autores dividem o ciclo em quatro etapas: a precipitação atmosférica com ocorrência de chuvas, granizo, neve ou orvalho; os escoamentos subterrâneos onde ocorrem as infiltrações e presença de águas subterrâneas; os escoamentos superficiais com torrentes, rios e lagos; e, a evaporação na superfície das águas e também no solo.

Figura 3 - Fases atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico



Fonte: Garcez e Alvarez (1988).

Tucci (2003) expõe que o ciclo hidrológico natural é composto por diferentes processos físicos, químicos e biológicos; porém, quando o ser humano passa a fazer parte desse ciclo e muda o ambiente de qualquer forma, produz mudanças que modificam negativamente esse ciclo, gerando impactos importantes, muitas vezes irreversíveis, na natureza.

Uma das principais causas de mudança no ciclo hidrológico é o processo de urbanização. Quando ocorre um crescimento desenfreado dos centros urbanos, sem planejamento ou diretrizes de ocupação, causando alterações na drenagem e

elevando a possibilidade de ocorrência de enchentes, inundações e deslizamentos, acarretando grande risco à vida humana (BENINI, MENDIONDO; 2015).

Segundo Rosa (2017), o processo de urbanização acarreta a impermeabilização do solo, gerando impacto no ciclo hidrológico como a redução da evapotranspiração, devido ao desmatamento; e, conseqüente aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração, intensificando a erosão e assoreamento dos corpos d'água.

Uma das conseqüências do processo de impermeabilização são as frequentes inundações. Segundo Tucci (2003), existem dois tipos de inundações: a ribeirinha e a devido à drenagem urbana. A primeira ocorre quando rios, lagos e galerias pluviais escoam suas águas para os leitos devido à incapacidade de transporte dessas águas. As áreas urbanas afetadas são aquelas próximas a esses leitos e não há interferência humana para ocorrência da inundação. Enquanto que a segunda, o aumento das áreas impermeáveis e a criação de sistemas de drenagem com canalizações, dutos, galerias artificiais, aceleram o escoamento através desses componentes. A quantidade de água que chega ao sistema de drenagem aumenta produzindo inundações mais frequentes com a interferência humana.

2.2. Drenagem urbana

Caldeira e Lima (2020) conceituam drenagem urbana como um sistema preventivo de inundações e tem como objetivo minimizar os riscos e danos à população, diminuindo os prejuízos provocados pelas enchentes e inundações, viabilizando o desenvolvimento urbano de maneira harmônica, sustentável e segura.

De acordo com Christofidis (2019), no Brasil, a drenagem urbana iniciou-se com uma abordagem higienista, aplicada entre 1850 e 1990. Nessa abordagem, havia a coleta de águas pluviais para jusante, tendo assim elevação do pico de cheias nos cursos d'água e tempo de concentração reduzido. Entretanto, tal abordagem trouxe problemas intersetoriais para as cidades. Para Souza (2013), a abordagem higienista tem a “necessidade de sempre drenar”, a partir de estruturas de micro e macrodrenagem para despejar as águas para fora das cidades. A abordagem higienista é o próprio conceito atual de drenagem urbana no Brasil, estando descrita

nos manuais como “conjunto de elementos destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escoam sobre sua superfície, conduzindo-as a um destino final”.

Segundo Moura (2004), a abordagem descrita anteriormente pode ser entendida como um sistema de drenagem do tipo clássico. A captação da água é feita através de condutos, preferencialmente, subterrâneos, sendo despejada por gravidade em corpos d’água. Moura (2004) caracteriza esse tipo de sistema como:

[...] a implantação de condutos que promovem uma maior eficiência hidráulica do escoamento, que a passa a ocorrer com maior velocidade. Porém, os sistemas clássicos de drenagem apresentam inconveniências: com o aumento da velocidade do escoamento, as cheias são propagadas para jusante mais rapidamente e às áreas urbanas a montante causam inundações nas áreas de jusante.

O segundo tipo de sistema de drenagem é o compensatório, quando realizado em conjunto com os sistemas clássicos, objetivam o aumento da infiltração da água no solo e/ou a reserva desse volume de água. Pode-se citar estruturas de trincheiras e valas, calçadas permeáveis e poços com objetivo de aumentar a infiltração do solo visto a impermeabilização causada pela urbanização. E, reservatórios de retenção e/ou retenção para reserva de águas (KIPPER, 2015).

Baptista (2007) separa o sistema compensatório em três técnicas de controle distintas conforme seu objetivo de maior infiltração e reserva da água da chuva:

- Para controle na fonte: sendo implantadas em pequenos conjuntos de parcelas associadas à drenagem de pequenas áreas, podendo ser utilizadas valetas, planos de armazenamento, paletas e poços de infiltração.
- Para controle nos sistemas viário: sendo implantadas junto aos sistemas de infraestrutura viária já existente, podendo ser utilizados pavimentos porosos, intertravados e asfalto permeável.
- Para controle a jusante: sendo implatadas em conjuntos de parcelas associadas à drenagem de grandes áreas, podendo ser utilizados bacias de retenção e bacias de infiltração, por exemplo.

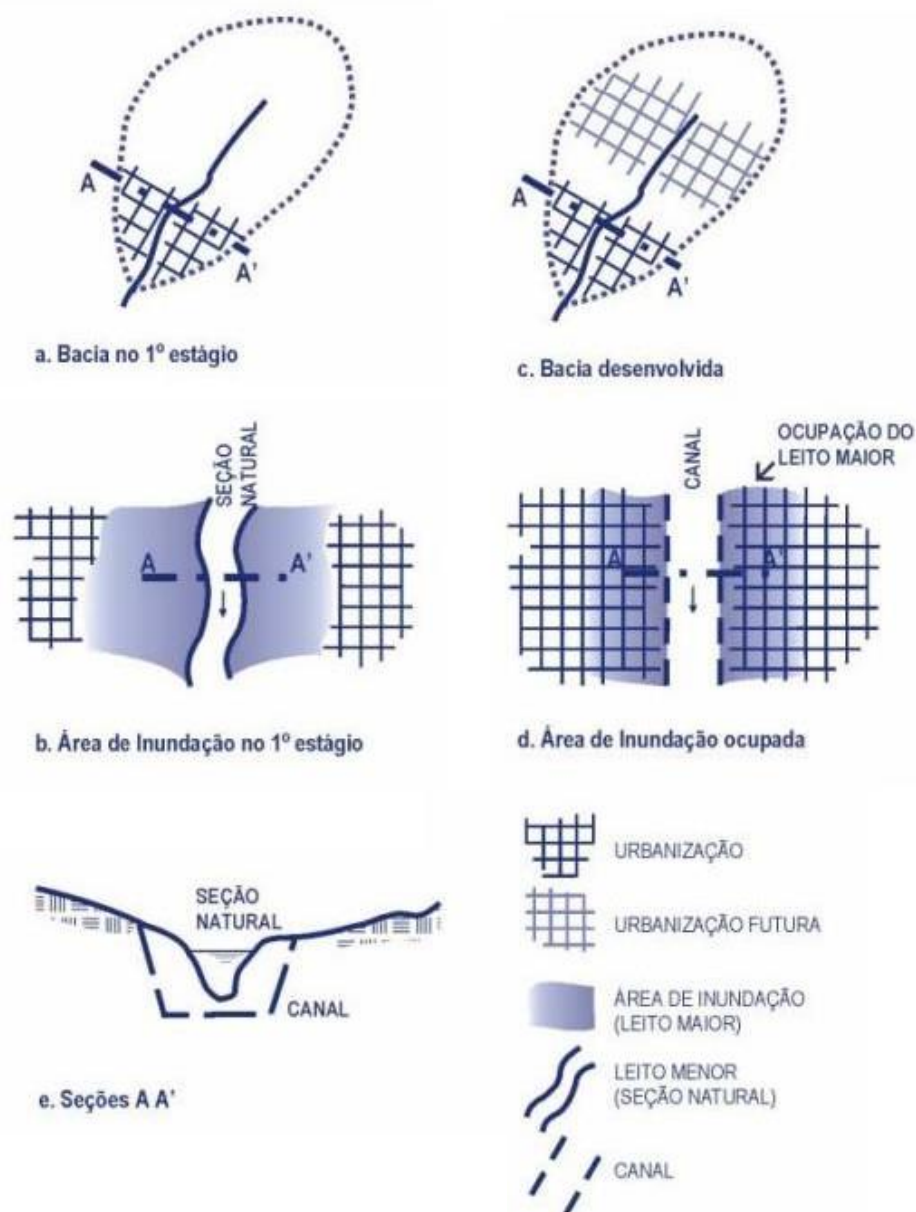
Segundo Baptista e Nascimento (2002), existem três limitações técnicas para aplicação de um sistema de drenagem eficaz nas cidades. A primeira, refere-se ao domínio do sistema de drenagem atual de cada cidade, considerando que nem todas as cidades possuem cadastros atualizados das redes de drenagem. A segunda, refere-se ao precário conhecimento dos processos hidrológicos e do funcionamento hidráulico do sistema implantado. A terceira, refere-se a inadequação das equipes técnicas responsáveis pelos sistemas.

2.2.1. Microdrenagem e Macrodrenagem

A microdrenagem é definida como um sistema de condutos pluviais em nível de loteamento ou rede primária urbana, composta por bocas de lobo, meios-fios, sarjetas, galerias pluviais e poços de visita (PORTO, 1998). Todo este sistema conduz a água aos sistemas de macrodrenagem, que correspondem à rede de drenagem natural das bacias, constituídas de córregos, riachos e rios localizados nos talvegues e vales (MARTINS, 1998).

A microdrenagem e a macrodrenagem de acordo com Martins (2012) tratam-se das soluções mais utilizadas para casos de inundações, enchentes e alagamentos urbanos, na forma de obras hidráulicas como, por exemplo, a construção de reservatórios de detenção e retenção, diques de contenção de cheias ou mesmo aumento de leito de rios ou canalização, visando a solução de problemas locais. No Brasil, o controle de impacto do aumento da vazão vem sendo feito por meio da canalização. O processo pode ser observado na Figura 4, abaixo:

Figura 4 - Processo de canalização em áreas de inundação



Fonte: Manual de drenagem urbana para região metropolitana de Curitiba (2002)

De acordo com o Manual de drenagem urbana da região metropolitana de Curitiba-PR (2002), a bacia no primeiro estágio não está totalmente urbanizada e as inundações ocorrem no trecho urbanizado, onde algumas áreas estão desocupadas, porque inundam com frequência. Com a canalização do trecho, não ocorrem mais as inundações. As regiões que correspondem ao leito maior do rio, propensas a inundações, tratavam-se de áreas sem ocupação humana, áreas essas valorizadas devido a suposta segurança quanto ao controle de enchentes.

O manual diz que, com o desenvolvimento da bacia de montante e o respectivo aumento da vazão máxima, voltam a ocorrer inundações no antigo leito maior. Durante a etapa, não existe mais espaço para ampliar lateralmente o canal, sendo assim, a solução seria aprofundá-lo e, como consequência tem-se o aumento de custos em escala quase exponencial, já que será necessário estruturar as paredes do canal.

2.2.2. A urbanização acelerada e seu impacto nas microbacias urbanas

A migração da zona rural para a zona urbana reflete no processo de urbanização, aliada a esta migração, está o crescimento e desenvolvimento das cidades, no qual ocorre, em sua maioria, de forma desordenada ou irregular. Isso se dá devido à falta de planos de desenvolvimento, de fiscalização e controles eficientes (TASSI, 2002).

Com o crescimento das cidades e conseqüentes alterações na bacia hidrográfica, os sistemas naturais de drenagem não são suficientes para realização do escoamento da água precipitada. A falta de adequado planejamento urbano tem como consequência uma impermeabilização excessiva da bacia, na qual aumenta o escoamento e sobrecarrega os sistemas de drenagem, exigindo alterações e obras nestes sistemas (MARTINS, 2012).

Nesse mesmo sentido, Amaral e Gutjahr (2012) ressaltam que à medida que as cidades crescem, ocorre o desmatamento de áreas de mata nativa e nesse espaço se inicia a construção de casas, edifícios, ruas, avenidas e calçadas, que acabam por diminuir a permeabilidade do solo. Como resultado, menos água de chuva irá infiltrar no subsolo e mais água irá escoar pelas ruas e avenidas.

De acordo com o Manual de drenagem Urbana (2002), as enchentes em áreas urbanas são conseqüências de dois processos, que ocorrem isoladamente ou de forma conjunta: enchentes em áreas ribeirinhas, em que os rios geralmente possuem dois leitos, um menor onde a água escoar na maioria do tempo e um maior, que é inundado em média a cada 2 anos. O impacto devido à inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita a inundação. Já as enchentes, devido à urbanização aumentam a sua frequência e magnitude devido à ocupação do

solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.

“A palavra enchente refere-se ao caso em que o nível de água dos rios eleva-se até a altura de suas margens, porém sem transbordar. Caso haja o transbordamento, configura-se então uma inundação” (MENDES, 2005). Para Licco (2015), alagamento seria o acúmulo momentâneo de águas em determinados locais que possuem deficiência no sistema de drenagem e enxurrada, o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.

2.3. Estudo Hidrológico

2.3.1. Precipitação

A precipitação trata-se de águas que são originadas na atmosfera e que atinge a superfície terrestre, na forma de: neve, granizo, chuva, orvalho, geada, etc. O que diferencia as várias formas de precipitação é o estado em que a água se encontra (PAZ, 2004). De acordo com COLLISCHONN (2006) : “É a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. Assim sendo, ela fornece subsídios para a quantificação do abastecimento de água, irrigação, controle de inundações, erosão do solo, etc”.

2.3.2. Chuvas intensas

Parte fundamental para determinação das vazões de uma determinada bacia, sub-bacia ou microbacia é conhecer as relações de intensidade-duração-frequência, conhecida como relação IDF.

[...] De fato, um gráfico entre as intensidades (mm/h) e as durações (minutos ou horas) de precipitações intensas, registradas por pluviógrafos, revela que quanto mais intensa é a chuva, menor é a sua duração. Por outro lado, quanto maior é a intensidade da chuva, maior é o período de retorno a ela associado. (Naghetini, p. 180, 2012)

A relação IDF é obtida pela precipitação (P) que atinge uma determinada área (A) em uma dada duração (D) com probabilidade de ocorrência qualquer e daí é construída a curva IDF. A série de dados para construção da curva deve ser pelo

menos maior que 15 anos. Posteriormente, seleciona-se as maiores chuvas em uma série de tamanho (N), ajustando sua distribuição numa frequência que melhor represente. A duração das chuvas varia, mas são obtidas normalmente para durações de chuvas de 5 minutos, 10 minutos, 1 horas, 12 horas, 24 horas, 2 dias e 5 dias. A partir dos dados obtidos observa-se o gráfico e obtém-se a equação com a relação intensidade, duração e frequência. (Collischonn, 2008)

2.3.3. Vazão de projeto pelo Método SCS

Segundo Paz (2004), o método do Soil Conservation Service, correlaciona a precipitação total e a precipitação efetiva. A precipitação efetiva pode ser determinada pela expressão:

$$P_{ef} = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)} 254 \quad (1)$$

Sob a condição de $P > 0,2S$, sendo S o valor da retenção potencial do solo, ou seja, sua capacidade de armazenar água. Sendo, o valor de S estimado a partir do CurveNumber (CN) que relaciona o tipo e umidade do solo e à ocupação da bacia. Quando a condição não é atendida, considera-se que não há informações de escoamento superficial, sendo a precipitação efetiva igual a zero (PAZ, 2004).

O método SCS está baseado no conceito de hidrograma unitário. O mesmo pode ser definido como o hidrograma resultante de um escoamento superficial de 1 cm de uma chuva com uma determinada duração. Na prática, para que se obtenha o hidrograma unitário, é necessário a análise das precipitações e vazões daquela bacia em estudo (TOMAZ, 2012).

2.3.4. Vazão de projeto pelo Método Santa Bárbara

O método Santa Bárbara objetiva obter o hidrograma de uma precipitação para uma determinada bacia considerando um local escolhido. Ele define que a área impermeável da bacia é diretamente conectada ao sistema de drenagem e que as perdas de água da chuva que caem na área impermeável ou a chuva excedente que vai pela superfície, são desprezíveis (TOMAZ, 2012).

O mesmo autor fala que o método Santa Bárbara combina o runoff sobre área impermeável e sobre a área permeável para formar o hidrograma, que é obtido

supondo um reservatório imaginário cujo tempo de espera é o tempo de concentração da bacia”.

2.4. Pesquisas desenvolvidas sobre o tema

A pesquisa intitulada “Análise do impacto da evolução urbanística sobre o sistema de drenagem urbana” desenvolvida por Lavagnoli (2014), apresenta os efeitos da diminuição das áreas permeáveis em torno do córrego de São Gabriel na cidade de São Gabriel da Palha – ES. No desenvolvimento da pesquisa, a autora considera a área impermeável da sub-bacia como a área urbana em quatro cenários de urbanização.

Os resultados da pesquisa foram obtidos pelos métodos SCS e CUHP e mostraram que conforme há a diminuição da área de infiltração em torno do córrego, ocorre o aumento do escoamento superficial, o que pode justificar a ocorrência cada vez mais frequente de inundações na região.

Objetivando analisar os efeitos da diminuição das áreas de infiltração em uma área específica determinada. A pesquisa intitulada “Avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento superficial por meio de simulação hidrológica” desenvolvida por Sousa (2016), também mostrou resultados significativos das interferências com a impermeabilização do solo. Na tabela 1 pode-se observar os resultados encontrados.

Tabela 1 - Resultados da pesquisa “Avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento superficial por meio de simulação hidrológica”

Cenário	Taxa total de impermeabilização (%)	Vazão de Pico (L/s)	Tempo de pico (min)
TR = 5 anos			
Cenário 1	0%	601,11	23
Cenário 2	16%	1964,68	20
Cenário 3	51%	6503,9	12
Cenário 4	60%	7589,4	13
TR = 10 anos			
Cenário 1	0%	847,92	22,5
Cenário 2	16%	2277,69	20
Cenário 3	51%	6923,82	12,5
Cenário 4	60%	8079,04	13
TR = 20 anos			
Cenário 1	0%	1147,79	22,5
Cenário 2	16%	2637,06	20
Cenário 3	51%	7409,67	12,5
Cenário 4	60%	8646,29	13

Fonte: SOUSA (2016)

3. MATERIAL E MÉTODOS

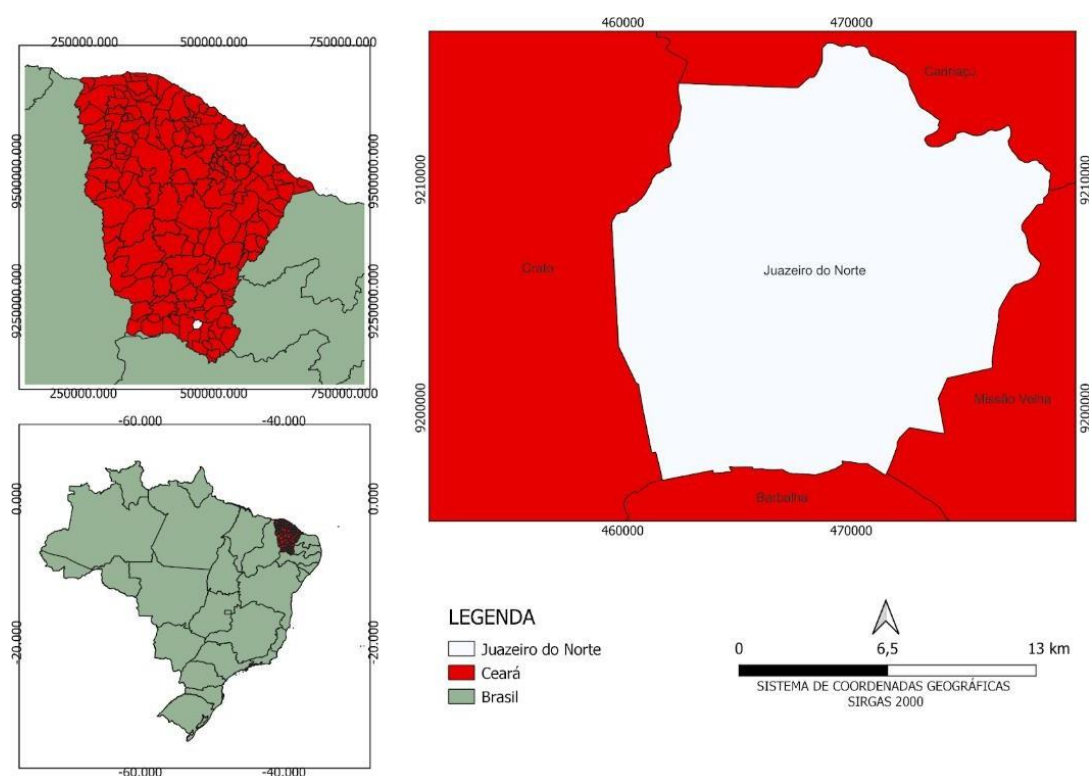
3.1. Diagnóstico das principais mudanças no território da microbacia

3.1.1. Área de estudo

O objeto deste estudo é o município de Juazeiro do Norte – CE, localizado dentro da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe 02, na sub-bacia do Salgado-CE. Para este estudo o município foi considerado como uma microbacia. O perímetro urbano abriga 278,3 mil habitantes, com uma área de superfície de 258,80 km² (IBGE, 2010). Os municípios limítrofes são: Missão Velha-CE, Barbalha-CE, Crato-CE e Caririáçu-CE.

A microbacia de Juazeiro do Norte-CE possui diversos trechos de drenagem da sub-bacia do Salgado, sendo o principal o rio Batateiras. O riacho do Fundo, riacho dos Carneiros, riacho Constantino, riacho do Avesso e o riacho Imburana são outros trechos de drenagem presentes dentro da área de estudo. Na Figura 5, tem-se a localização geográfica de Juazeiro do Norte-CE.

Figura 5 - Mapa de localização do município de Juazeiro do Norte-CE



Fonte: Autora (2023)

Optou-se por utilizar toda área do município como microbacia, a partir do entendimento de que concomitantemente à evolução da infraestrutura urbana ocorrem

diversas mudanças na caracterização do território. Sendo uma microbacia, também, uma área geográfica compreendida entre cursos d'água de uma bacia.

3.1.2. Determinação do uso e ocupação do solo

A partir da análise da ocupação do solo, identificou-se como está sendo utilizado pelo homem, seja no processo de urbanização ou uso rural. As alterações realizadas, podem causar diversos problemas ambientais, tais como: inundações, erosão intensa e assoreamento de cursos d'água (Feltran-Filho et al, 1989).

Para o desenvolvimento da pesquisa foram elaborados três cenários de uso e ocupação do solo, que contemplaram os anos de: 1991, 2006 e 2021, observando o avanço na mudança do uso do solo no intervalo de 15 anos. Para isso, utilizou-se os arquivos GeoTIFF disponibilizados no Portal MapBiomias, com resolução espacial de 30 metros. Para a caracterização do solo foi utilizado o manual técnico de pedologia do IBGE e para caracterização do uso do solo foi utilizado a classificação do MapBiomias. Os cenários de uso e ocupação do solo são imprescindíveis para determinação das áreas impermeáveis e determinação do número de deflúvio (CN).

3.1.3. Estudo hidrológico e fisiógrafo

A microbacia de Juazeiro do Norte-CE está inserida na sub-bacia do Salgado-CE, com área total de 258,80 km² e, neste estudo foi observado não só a evolução da mancha urbana, como também as mudanças fisiográficas em todo território. Os dados hidrológicos foram retirados do portal HIDROWEB da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). O posto pluviométrico escolhido tem código 739065 sob responsabilidade e operação da FUNCEME-CE, sendo observados 31 registros de chuvas. Para determinação da precipitação, foram observadas as chuvas máximas diárias anuais dos anos de 1991 a 2021. Neste período não foram registradas falhas, ou seja, haviam dados de chuvas para todos os meses.

Os dados fisiográficos foram obtidos através do tratamento de imagens do tipo GeoTIFF e arquivos *shapefiles*. Para composição da rede de drenagem dos cursos d'água buscou-se informações no site do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e no catálogo de metadados da ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Enquanto, que os dados para gerar o mapa de declividade da área de estudo foram obtidos a partir do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil

(TOPODATA) e classificados conforme orientação das classes de declividade da EMBRAPA de 1979.

Quadro 1 - Distribuição de classes de declividade

%Declividade	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave-ondulado
8-20	Ondulado
20 - 45	Forte-ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (1979)

De posse das informações de declividade, foram extraídas as curvas de níveis. O software QGis com extensão Grass foi utilizado para tratamento de todos os arquivos e modelo final dos mapas e, como sistema padrão de georreferenciamento foi usado o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 24 S.

3.2. Determinação da equação de chuvas intensas e chuvas excedentes para a microbacia

3.2.1. Chuvas intensas

A equação de chuvas intensas foi obtida a partir do Método de Gumbel, tendo em vista ser um método que utiliza dados de chuvas locais e diários. Em diversos cenários não há equações da relação intensidade-duração-frequência (IDF) determinadas, como é o caso da área de estudo, por isso a utilização deste método.

Os dados das precipitações máximas anuais foram organizados em ordem decrescente. Utilizando a equação 2 de Kimbal (Villela; Mattos, 1975) obteve-se a frequência.

$$F_i = \frac{m_i}{n+1} \quad (2)$$

Em que:

F_i : frequência observada;

m_i : número da ordem da chuva máxima;

n : número de dados da série analisada.

Para definir o período de retorno (T_r), sendo o intervalo em anos que qualquer chuva é igualada ou superada, utiliza-se da equação 3.

$$T_r = \frac{1}{F_i} \quad (3)$$

Através da equação 4 de Ven Te Chow (Villela; Mattos, 1975), pode-se obter a maioria das funções de frequência teórica aplicáveis.

$$X = u + K\sigma \quad (4)$$

Em que:

X : a intensidade do evento,

u e σ : são a média e o desvio padrão das intensidades observadas,

K : o fator de frequência que irá depender do tamanho da amostra, do período de retorno e da distribuição.

O fator de frequência “ K ” é obtido pela Equação 5:

$$K = 0,7797y - 0,45 \quad (5)$$

Sendo “ y ” é a variável reduzida de Gumbel expressa por Equação 6.

$$y = -\ln[-\ln\left(\frac{1}{T}\right)] \quad (6)$$

Em que, “ T ” é o período de retorno definido em 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75 e 100 anos.

Obtidos os valores de intensidade “ X ”, efetua-se a desagregação das chuvas. Para isso, foram utilizados os coeficientes de desagregação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1986) ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente de desagregação de chuvas para diferentes durações

Relação de durações	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	1h	6h	8h	10h	12h	24h
	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min	1h	24h	24h	24h	24h	24h	1 dia
Relação das chuvas	0,34	0,54	0,7	0,81	0,91	0,74	0,42	0,72	0,78	0,82	0,85	1,14

Fonte: CETESB (1986)

Após a definição estatística dos valores extremos, seguindo o método de Chow-Gumbel, um dos mais indicados para a distribuição das chuvas máximas, foi definida a relação intensidade-duração-frequência que pode ser relacionada na Equação 7.

$$i = \frac{k+T^a}{(t+t_0)^c} \quad (7)$$

Em que,

t = duração da chuva

T = tempo de retorno

k, a, t_0, c = são parâmetros de ajustes para cada região

Os parâmetros são obtidos através de coordenadas logarítmicas das séries de intensidade máxima diária (i), em função do intervalo de duração (t), com o período de retorno (T), obtendo-se curvas paralelas. Para obtenção dessas curvas retas e paralelas, fez-se uso do método de tentativas, para verificar a constante t_0 que deverá ser adicionada à duração t , tendo a Equação geral 8 (Villela; Matos; 1975).

$$\log i = \log C - c \log(t + t_0) \quad (8)$$

Aplicando o método dos mínimos quadrados, usando os valores dos parâmetros angular (c) e linear ($\log C$), em função do período de retorno T , obtém-se os demais parâmetros da equação de intensidade (Equação 9).

$$\log C = \log K + a \log T \quad (9)$$

Tendo assim definido os parâmetros k , a , t_0 e c para a equação de intensidade da chuva.

3.2.2. Número de deflúvio (CN)

O CN é a representação em porcentagem da parcela de solo impermeável, tendo sua variação entre 0 (permeabilidade do solo total) e 100 (impermeabilidade do solo total). Para determinação do número de deflúvio da área de estudo foi utilizado o tipo de solo e seu uso em 1991, 2006 e 2021.

Segundo Tucci (2004), considerando a infiltração, o tipo de solo pode ser dividido em quatro categorias (Quadro 2). Após a classificação do solo em Grupo: A, B, C ou D; determinou-se o CN conforme o seu uso (Tabela 3).

Quadro 2 - Classificação do tipo de solo em grupos

Grupo hidrológico do solo		Classes Gerais de solo
A	Baixo escoamento superficial e alta infiltração	LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso;
B	Solo arenoso menos profundo que o A e com permeabilidade superior.	LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZÊNICO; ARGILOSSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa, argilosa/muito argilosa, que não
C	Escoamento superficial acima da média e infiltração abaixo.	ARGILOSSOLOS pouco profundos, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGILOSSOLO VERMELHO, ARGILOSO; VERMELHO AMARELO e ARGILOSSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS; ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO;
D	Maior proporção de escoamento superficial considerando a baixa capacidade de infiltração.	NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no grupo C; ARGILOSSOLO VERMELHO AMARELO e ARGILOSO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à

Fonte: Tucci (2004)

Tabela 3 - Tabela simplificada dos valores de CN

Uso do solo	Grupo hidrológico do solo			
	A	B	C	D
Agricultura	62	71	78	81
Corpos d'água	100	100	100	100
Pastagem	25	59	75	83
Florestas Naturais e/ou Silvicultura	36	60	70	76
Áreas urbanas	77	85	90	92

Fonte: Jackson (1980)

Para isso, foram utilizados os valores de CN de Tucci (2004) para bacias urbanas e suburbanas (Tabela 4) e para bacias rurais (Tabela 5). Como também os valores de CN adaptados para imagens orbitais de Jackson (1980), conforme Tabela 5, citada anteriormente. Ao relacionar o número de deflúvio para cada uso do solo é feita uma média ponderada considerando a área para determinação do CN da área em estudo.

Tabela 4 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Descrição do uso do solo		Tipo de solo			
		A	B	C	D
Espaços abertos: matos ou gramas cobrem 75% da área		39	61	74	80
Matos cobrem 50 a 75% da área		49	69	79	77
Áreas comerciais (85% impermeáveis)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeável)		81	88	91	93
Áreas residenciais		Tipo de solo			
Tamanho do lote (m ²)	Área impermeável (%)	A	B	C	D
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques e estacionamentos, telhados, viadutos		98	98	98	98
Arruamentos e estradas: asfaltadas e com drenagem pluvial		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci (2004)

Tabela 5 - Valores de CN para bacias rurais

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de níveis	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de níveis	62	74	82	85
	Terraceamento em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de níveis	60	72	81	84
	Terraceamento em nível	57	70	78	89
	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	94
	Boa	39	61	74	80
Pastagem em curvas de nível	Pobre	47	67	81	88
	Normal	25	59	75	83
	Boa	6	35	70	79
Campos permanentes	Normal	30	58	71	78
	Esparsa, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normal	36	60	73	79
	Densa, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras/estradas de terra	Normal	56	75	86	91
	Ruim	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Floresta	Muito esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsa	46	68	78	84
	Densa, alta transpiração	26	52	62	69
	Normal	36	60	70	76

Fonte: Tucci (2004)

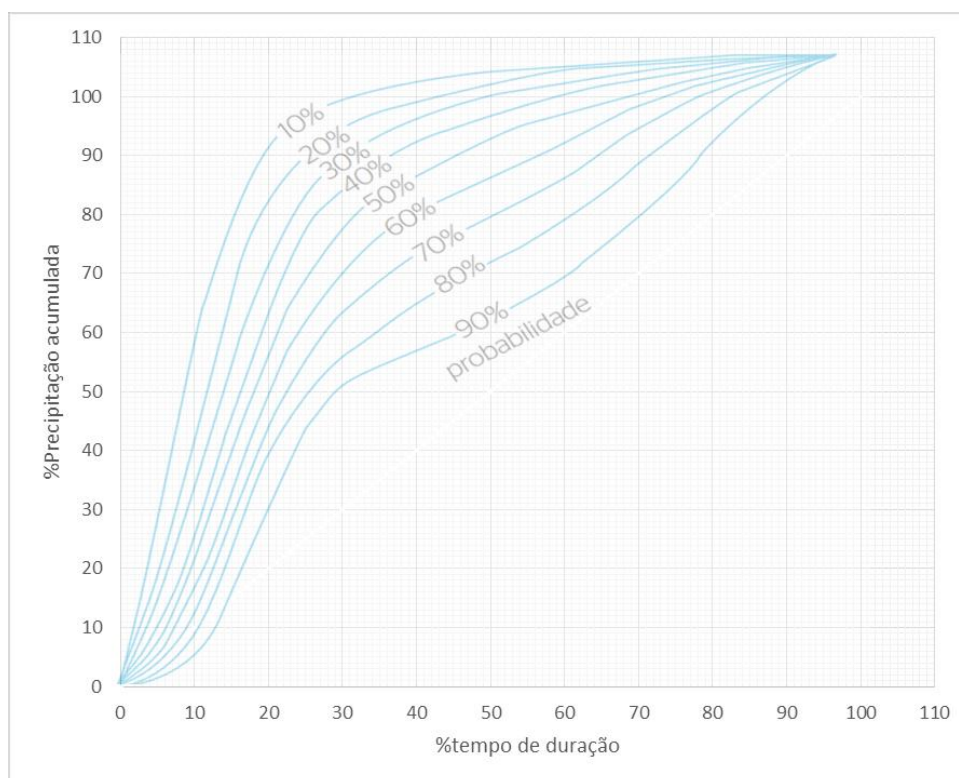
3.2.3. Chuva excedente

As chuvas excedentes foram definidas pelo método de Huff, a partir do hietograma de precipitação. O método possui a mesma configuração do hidrograma curvilíneo que será definido para obtenção da vazão de projeto.

A distribuição de Huff possui quatro quartis, que são utilizados para diferentes durações de chuvas. Segundo Tomaz (2012), o primeiro quartil é para chuvas menores ou iguais a 6 horas, o segundo para chuvas de 6 a 12 horas, o terceiro para chuvas de 12 a 24 horas e o quarto quartil para chuvas maiores que 24 horas.

Para determinar a chuva excedente foi considerado uma duração de chuva de 2 horas, logo será utilizado o primeiro quartil na linha de 50%. A partir da Figura 6, foram obtido os valores para chuva representados na Tabela 6.

Figura 6: Distribuição de Huff para 1º Quartil



Fonte: Tucci (2009)

Tabela 6 - Curvas acumuladas de Huff para o 1º Quartil

t (min)	%t	1º Q - 50%
		%P
10,00	8,33	12,20
20,00	16,67	38,10
30,00	25,00	62,00
40,00	33,33	74,50
50,00	41,67	80,70
60,00	50,00	85,60
70,00	58,33	89,00
80,00	66,67	92,10
90,00	75,00	94,20
100,00	83,33	96,80
110,00	91,67	98,60
120,00	100,00	100,00

Fonte: Adaptado de Tucci (2009)

Utilizando a equação da relação intensidade-duração-frequência de chuvas intensas, multiplica-se o valor de intensidade pela duração do evento e pela porcentagem de chuva acumulada. Após obter os valores de precipitação e ter a precipitação acumulada, calcula-se a precipitação excedente com a Equação 10.

$$P_{exc} = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} - 254 \quad (10)$$

A equação 10 é aplicada sob a condição $P > 0,2S$; caso a condição não seja atendida a precipitação excedente é zero. Sendo, P a precipitação acumulada e S a capacidade de armazenamento de água no solo que pode ser obtida pela Equação (11).

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

3.3. Análise dos efeitos do avanço da urbanização

Uma das consequências do processo de urbanização refere-se ao processo de impermeabilização do solo para construções de praças, edifícios, pavimentação de ruas e outros. Desta forma, foram analisados os recorrentes problemas vivenciados na cidade de Juazeiro do Norte – CE, tais como: alagamentos e inundações, que refletem em péssimas condições de vida para a população, proliferação de vetores, acidentes, incidência de doenças. Para esta análise foram usados dois métodos: *Soil Conservation Service* (SCS) e Santa Bárbara, descritos a seguir:

3.3.1. Tempo de concentração

É definido como o tempo necessário, para toda a bacia contribuir com o escoamento superficial, ou seja, o tempo que a gota de água demora para percorrer o trecho mais distante da bacia. Ele pode ser obtido por diferentes métodos, entretanto o valor exato não é definido (TOMAZ, 2002).

Para a determinação do tempo de concentração da microbracia em estudo, foram utilizados três métodos, cujo critério de escolha pautou-se na sua adequação para a área da microbacia e utilizar parâmetros que diferenciasssem os cenários observados. São eles o método SCS Lag, o método de Schaake e o método de Desbordes. As formulas para aplicação de cada método podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Fórmulas tempo de concentração adotados

Método	Fórmula
SCS Lag	$t_c = 0,057 \times (1000 / CN - 9)^{0,7} \times L^{0,8} \times S^{-0,5}$ <p>L = comprimento talvegue CN = número de deflúvio S = declividade média da bacia</p>
Schaake et al	$t_c = 0,0828 \times L^{0,24} \times S^{-0,16} \times A_{imp}^{-0,26}$ <p>L = comprimento talvegue S = declividade média da bacia A_{imp} = área impermeável da bacia</p>
Desbordes	$t_c = 0,0869 \times A^{0,3039} \times S^{-0,3832} \times A_{imp}^{0,4523}$ <p>L = comprimento talvegue S = declividade média da bacia A_{imp} = área impermeável da bacia</p>

Fonte: Adaptado de Silveira (2005)

Para definirmos o valor do talvegue (L), deve-se considerar o comprimento do coletor pluvial principal e sua declividade (S) (Silveira, 2005).

O tempo de concentração final para a microbacia foi determinado pela média aritmética dos três métodos adotados.

3.3.2. Determinação de vazão pelo Método SCS

O método foi executado para os três cenários de 1991, 2006 e 2021. Os parâmetros que diferenciam cada período são o tempo de concentração médio e o número de deflúvio (CN).

Inicialmente, foi determinado o Hidrograma Unitário. Para isso, faz-se necessário determinar algumas variáveis, descritas a seguir:

- Tempo de retardamento (t_p) é o tempo entre o centro de massa do hietograma da chuva excedente e o pico do hidrograma. Pode ser definido pela Equação 12, segundo Ven Te Chow (1988).

$$t_p = 0,6 \times t_c \quad (12)$$

t_c : tempo de concentração

- Tempo de ascensão (t_a) é o tempo de base do hidrograma unitário definido na equação 13.

$$t_a = t_p + \frac{D}{2} \quad (13)$$

Relacionando a equação 12 com 13 temos:

$$t_a = 0,6 \times t_c + \frac{D}{2} \quad (14)$$

D : duração da chuva unitária obtida por $D = 0,133t_c$

A partir dos valores do “ t_p ” e do “ t_a ”, obtém-se a vazão de pico (Q_p) em m^3/s .

$$Q_p = 2,08 \times A/t_a \quad (15)$$

A : área da bacia em km^2

O fator 2,08 é adotado pelo SCS como média geral para o fator de pico (PF) e corresponde à 484 unidades inglesas. Esse fator de pico é comumente utilizado.

Para construção do hidrograma unitário curvilíneo é necessário a relação Q/Q_p e t/t_p . Para determinação do “Q” unitário correspondente a um período “t” foi utilizado uma duração de chuva unitária de 10 minutos e o hidrograma unitário curvilíneo adimensional do SCS de McCuen (Tabela 8).

Tabela 8 - Hidrograma unitário curvilíneo adimensional do SCS de McCuen

t/t_p	Q/Q_p
0,00	0
0,10	0,03
0,20	0,1
0,30	0,19
0,40	0,31
0,50	0,47
0,60	0,66
0,70	0,82
0,80	0,93
0,90	0,99
1,00	1
1,10	0,99
1,20	0,93
1,30	0,86
1,40	0,78
1,50	0,68
1,60	0,56
1,70	0,46
1,80	0,39
1,90	0,33
2,00	0,28
2,20	0,207
2,40	0,147
2,60	0,107
2,80	0,077
3,00	0,055
3,20	0,04
3,40	0,029
3,60	0,021
3,80	0,015
4,00	0,011
4,50	0,005
5,00	0

Fonte: McCuen, p.537 (1993)

Após relacionar os valores de “ t_p ” conhecidos, foram obtidos os valores de “ t ”. Já com os valores de “ Q_p ” conhecidos obteve-se os valores de Q . Realizando interpolação linear de 10 em 10 minutos foram obtidos os valores de Q para o valores de t igual a 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 minutos.

Para determinar o hidrograma de cheia é realizado o processo de convolação. A convolação irá utilizar como variáveis a vazão “ Q ” definida no hidrograma unitário curvilíneo e a chuva excedente definida para uma chuva de 2 horas com tempo de 10 em 10 minutos.

3.3.3. Determinação de vazão pelo método Santa Bárbara

O método Santa Bárbara propõe que a área impermeável da bacia seja ligada ao sistema de drenagem, sendo desprezadas as perdas de água da chuva excedente que vai pela superfície. Aplicável para áreas urbanas, utiliza-se do método de Ruff para obter os hietogramas de chuvas excedentes, combinando a área impermeável e permeável para formar o hidrograma (TOMAZ, 2012).

A partir do tempo de concentração (t_c) e da chuva excedente já calculados, procede-se com o método Santa Bárbara seguindo o passo a passo de Akan (1993).

- É calculada a infiltração do solo pela diferença da chuva excedente com a precipitação por faixa. Sendo, a última obtida pelo produto da intensidade com %P do 1º Quartil de Huff.
- Calcula-se a velocidade de escoamento da área impermeável (i) em milímetros por segundo pela razão da precipitação por faixa pelo intervalo de tempo (Δt). Para definir a velocidade de escoamento da área permeável (i_e) faz-se a razão da chuva excedente pelo intervalo de tempo (Δt).
- A partir dos dados de “ i ” e “ i_e ” obtidos, determinam-se as ordenadas do hidrograma em m^3/s a partir da equação 16. Em seguida determina-se a soma acumulada como $I_{(j-1)} + I_{(j)}$

$$I = [i \times d + i_e \times (1.0 - d)] \times A \quad (16)$$

Em que:

d - a fração impermeável da bacia

A - a área da bacia em m^2 .

- Por último, é calculada a vazão (Q) a partir da Equação 17.

$$Q_{(j)} = Q_{(j-1)} + K_r \times [I_{(j-1)} + I_{(j)} - 2 \times Q_{(j-1)}] \quad (17)$$

Sendo, K_r o coeficiente de retardo obtido pela Equação 18.

$$K_r = \frac{\Delta t}{2 \times t_c + \Delta t}, \quad \frac{t_c}{5} \leq \Delta t \leq \frac{t_c}{3} \quad (18)$$

Determinado todos os valores de vazão (Q) obtém-se o hidrograma, em que o primeiro valor do hidrograma representa o segundo valor de “Q” definido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Diagnóstico das principais mudanças no território da microbacia

4.1.1. Caracterização dos cenários

Através do tratamento dos arquivos *shapefiles*, foram obtidos três cenários de estudo (anos de 1991, 2006 e 2021) para a microbacia Juazeiro do Norte-CE, a fim de observar as alterações ocorridas na área nos últimos trinta anos. As análises dos três cenários apresentaram três principais mudanças no uso e ocupação do solo da microbacia: a expansão da mancha urbana, o aumento da atividade de agricultura e pecuária com consequente diminuição das formações florestais naturais.

Na Tabela 9, pode-se observar que entre 1991 e 2006 ocorreu uma expansão de 53,86% da área utilizada para agricultura e pastagens, ao mesmo tempo em que houve uma diminuição de 21% das áreas de formações naturais. O crescimento da mancha urbana foi mais significativo entre 2006 e 2021, com incremento de 35,5%. Nesse mesmo período, houve uma queda de 29% na área utilizada para agricultura e pastagens e um incremento de 8,33% nas formações naturais. As mudanças acompanharam o desenvolvimento urbano do município, com expansão de áreas residenciais, por exemplo, e expansão de áreas comerciais e industriais.

Tabela 9 - Análise das mudanças do uso e ocupação do solo

Mudanças	1991	2006		2021	
	Área (km ²)	Área (Km ²)	Incremento %	Área (Km ²)	Incremento %
Infraestrutura urbana	31,38	37,24	18,68%	50,47	35,50%
Agricultura e pastagens	55,36	85,17	53,85%	60,40	-29,09%
Formação natural	170,89	134,79	-21,13%	146,69	8,83%

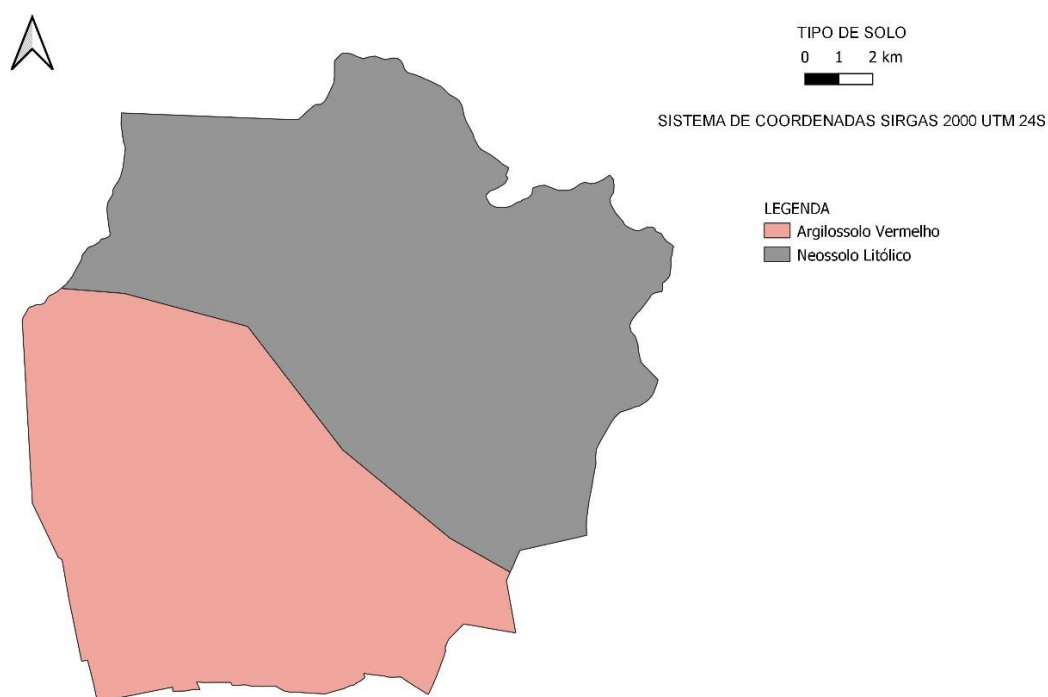
Fonte: Autor (2023)

Para caracterização da área das mudanças na Tabela 11, foi considerado a caracterização do uso e ocupação do solo representada da Figura 8, onde Agricultura e pastagens estão representadas por “Pastagem”, “Agricultura e

pastagem” e “Lavouras temporárias”, enquanto que a formação natural é composta pela “Formação florestal”, “Formação campestre” e “Formação savânica”.

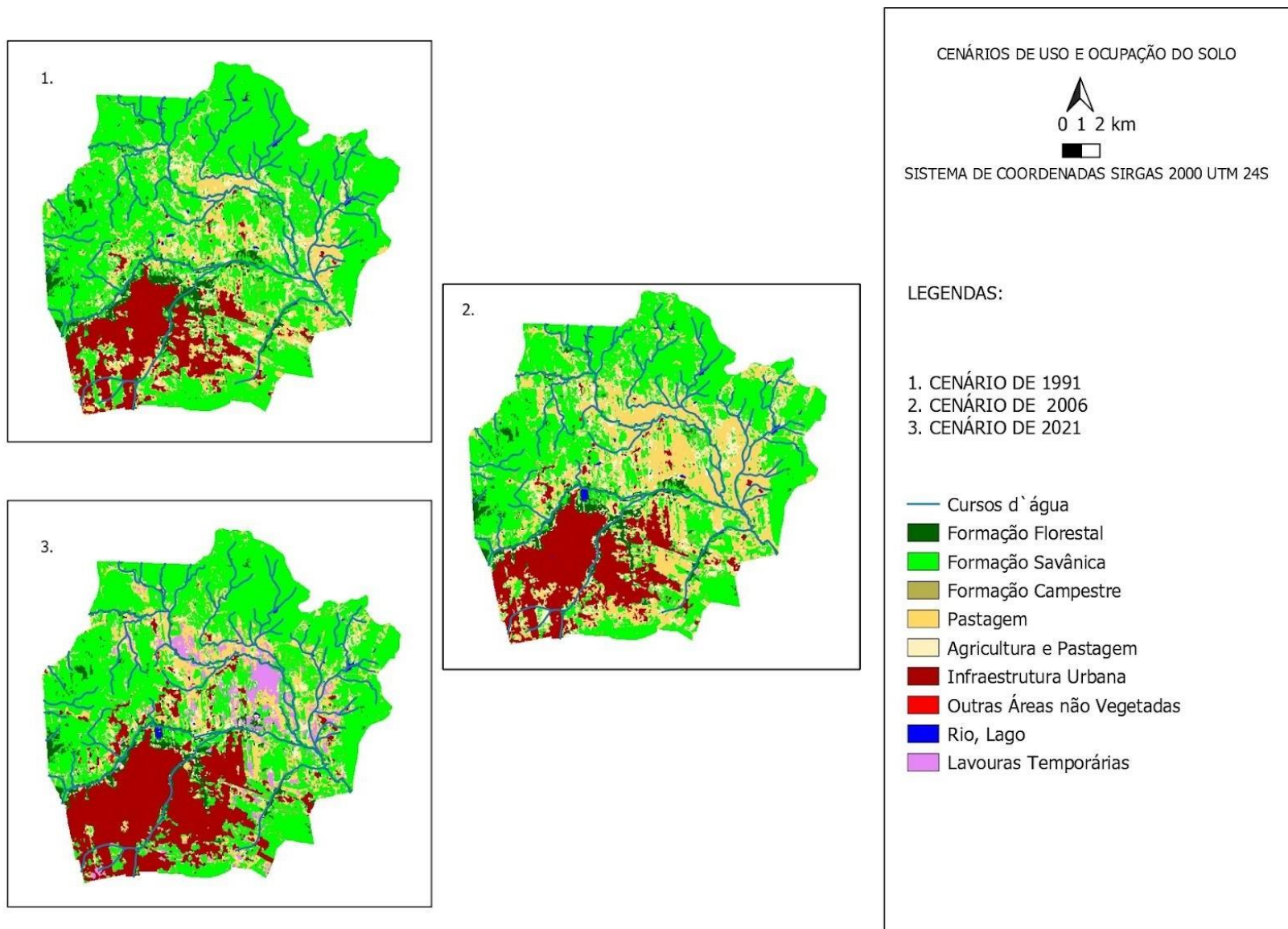
Na Figura 7, observa-se o tipo de solo na microbacia. A classificação foi realizada conforme classificação da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Na Figura 8 também é possível observar sobreposição do uso do solo nos cursos d'água.

Figura 7 - Tipo de solo da microbacia Juazeiro do Norte-CE



Fonte: Adaptado EMBRAPA (1979)

Figura 8 - Cenários de uso e ocupação do solo da microbacia de Juazeiro do Norte-CE



Fonte: Autor (2023)

4.2. Determinação da equação de chuvas intensas e chuvas excedentes para a microbacia

4.2.1. Chuva excedente

As chuvas excedentes foram determinadas para os três cenários de uso e ocupação do solo em estudo. O parâmetro diferencial para cada cenário foi o número de deflúvio CN obtido para cada ano e a precipitação inicial foi obtida através da relação IDF (Intensidade-Duração-Frequência) representada na Equação (19) e formulada para a sub-bacia de Juazeiro do Norte-CE.

$$i = \frac{858,025 \times T^{0,1766}}{(t + 12)^{0,7527}} \quad (19)$$

Obteve-se os valores de precipitação (P_t) para os períodos de retorno (T) de 25, 35 e 50 anos, considerando o estudo para macrodrenagem da sub-bacia, e uma duração de chuva de duas horas ($t = 120$ minutos) Tabela 10.

Tabela 10 - Dados de precipitação a partir da relação IDF

t(min)	T (anos)	Pt(mm)
120	25	76,78
120	35	81,48
120	50	86,78

Fonte: Autor (2023)

Para determinação do número de deflúvio (CN) de cada cenário, observou-se o tipo de solo da microbacia na Figura 7 e seu uso Figura 8. O número de deflúvil (CN) para cada cenário é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - CN para os diferentes cenários de uso e ocupação do solo

TIPO DE SOLO	USO	1991	2006	2021	CN
B	Outras áreas não vegetadas	0,09 km ²	0,21 km ²	0,36 km ²	82
	Rios e lagos	0,11 km ²	0,32 km ²	0,25 km ²	100
	Formação Campestre	1,89 km ²	1,52 km ²	1,86 km ²	75
	Formação Florestal	8,73 km ²	8,07 km ²	7,51 km ²	60
	Agricultura e pastagem	10,13 km ²	11,67 km ²	5,26 km ²	76
	Pastagem	12,15 km ²	15,59 km ²	6,75 km ²	67
	Infraestrutura Urbana	30,36 km ²	35,63 km ²	47,14 km ²	85
	Formação Savânica	50,72 km ²	41,07 km ²	43,20 km ²	68
	Lavouras Temporárias	0,00 km ²	0,09 km ²	1,85 km ²	76
D	Outras áreas não vegetadas	0,02 km ²	0,11 km ²	0,12 km ²	89
	Rios e lagos	0,94 km ²	0,96 km ²	0,51 km ²	100
	Formação Campestre	2,58 km ²	1,96 km ²	2,13 km ²	91
	Formação Florestal	3,49 km ²	3,63 km ²	3,47 km ²	76
	Agricultura e pastagem	15,97 km ²	18,10 km ²	11,20 km ²	88
	Pastagem	17,11 km ²	39,64 km ²	25,07 km ²	88
	Infraestrutura Urbana	1,02 km ²	1,61 km ²	3,33 km ²	92
	Formação Savânica	103,49 km ²	78,54 km ²	88,52 km ²	84
	Lavouras Temporárias	0,00 km ²	0,07 km ²	10,27 km ²	88
	Área total	258,80 km ²	258,80 km ²	258,80 km ²	

Fonte: Autor (2023)

Determinado o CN para uso do solo, fez-se a média ponderada considerando a área de ocupação do solo Tabela 12.

Tabela 12 - CN médio para cada cenário de uso e ocupação do solo

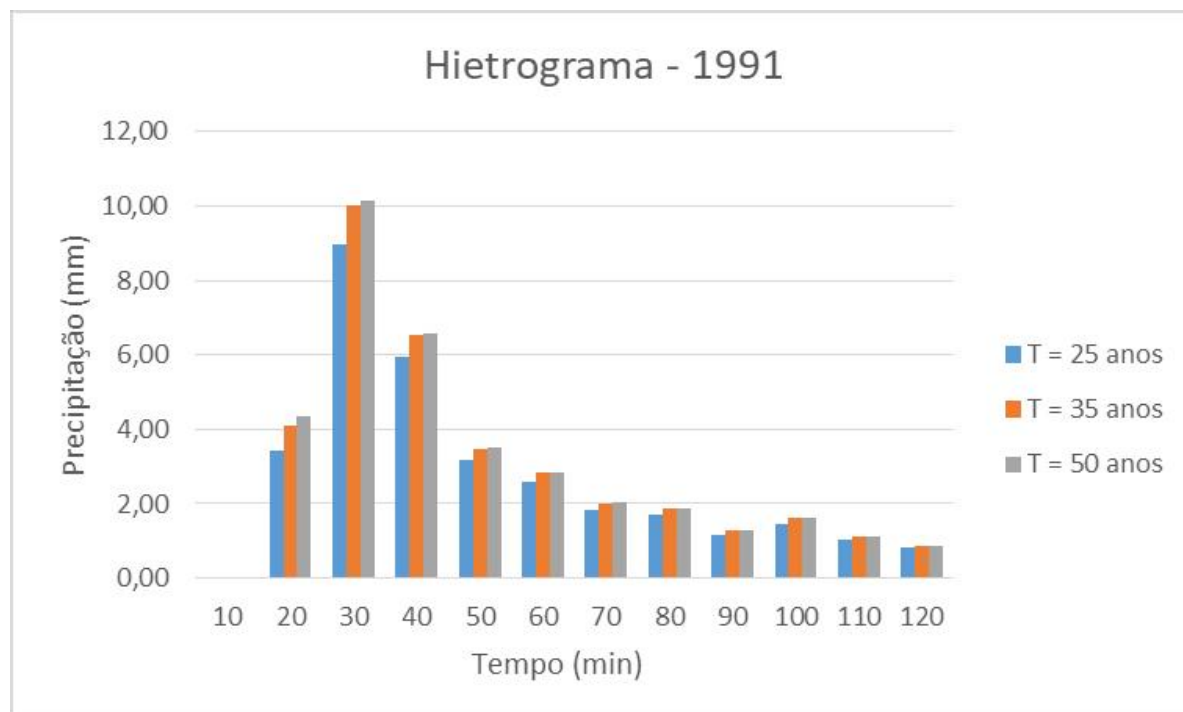
CENÁRIO	CN
1991	79,56
2006	80,37
2021	80,91

Fonte: Autor (2023)

Utilizando o 1º Quartil de Huff e os dados de precipitação e CN, obteve-se os hietogramas de chuvas excedentes para os três cenários.

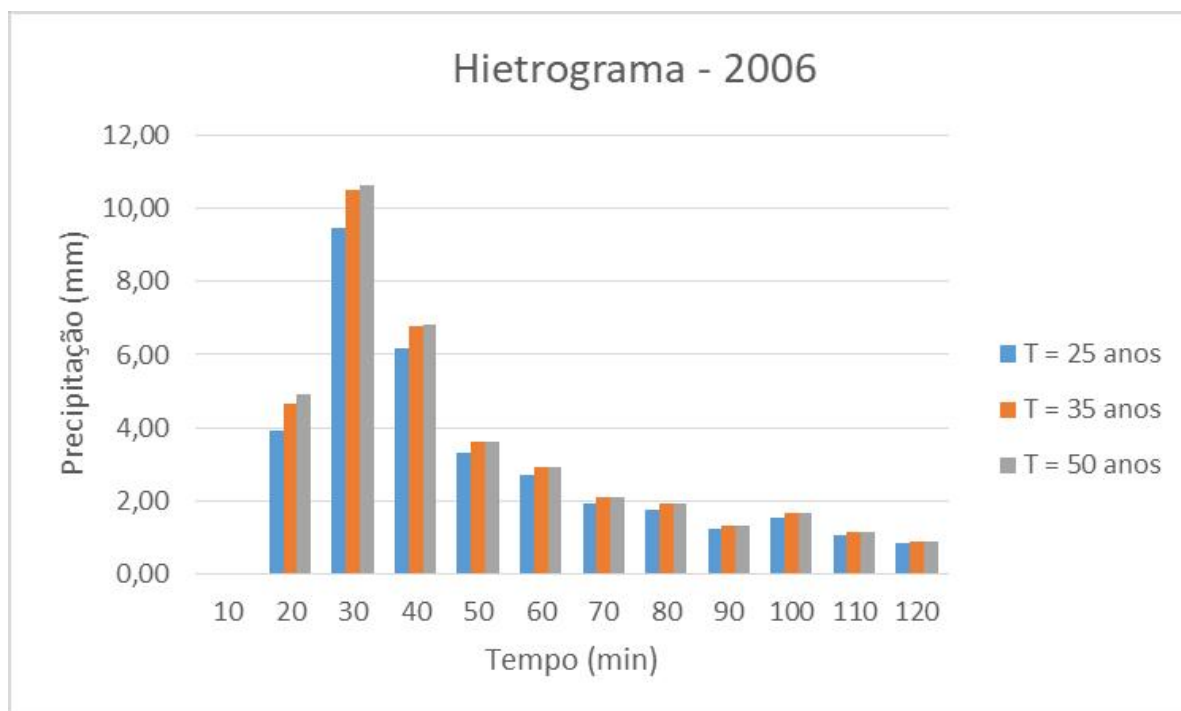
Os hietogramas representados nas Figuras 9,10 e 11 retraram a intensidade da precipitação ao longo do tempo na microbacia. Observa-se que a precipitação nos cenários 2006 e 2021 são iguais em todo tempo e, maior que a precipitação em 1991. Destacando dispersão máxima de 0,50 mm nos minutos 20, 30 e 40.

Figura 9 - Hietograma de chuvas excedentes para o cenário de 1991



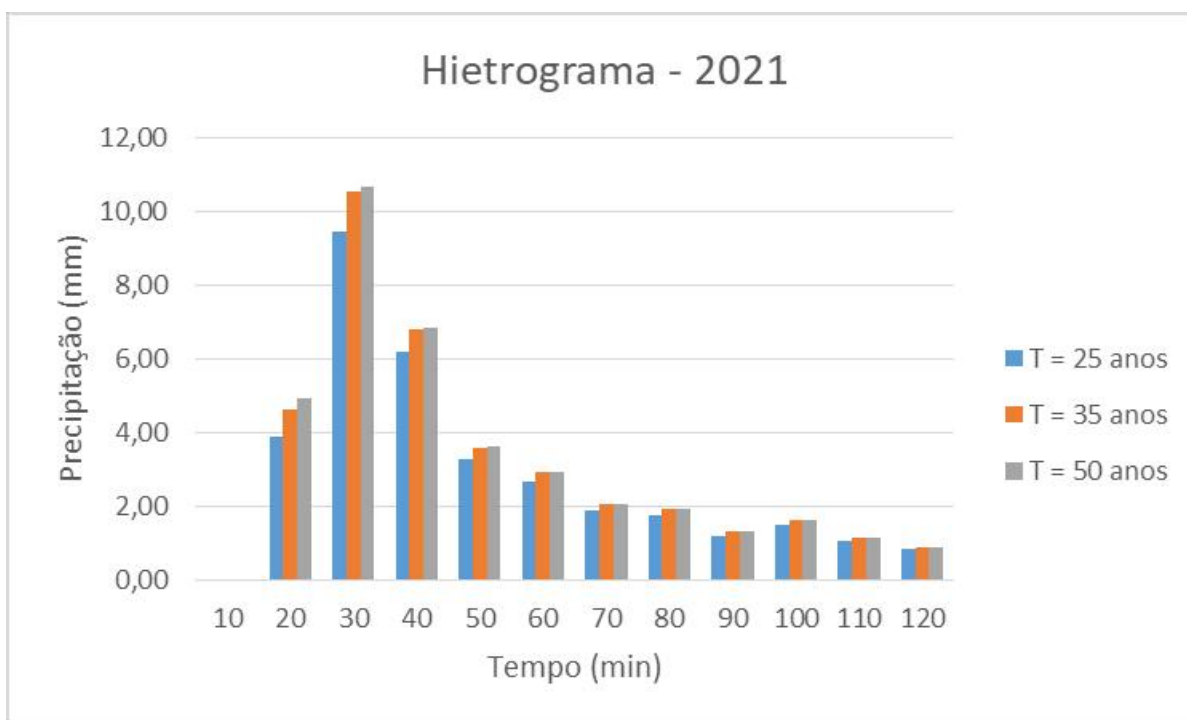
Fonte: Autor (2023)

Figura 10 - Hietograma de chuvas excedentes para o cenário de 2006



Fonte: Autor (2023)

Figura 11 - Hietograma de chuvas excedentes para o cenário de 2021



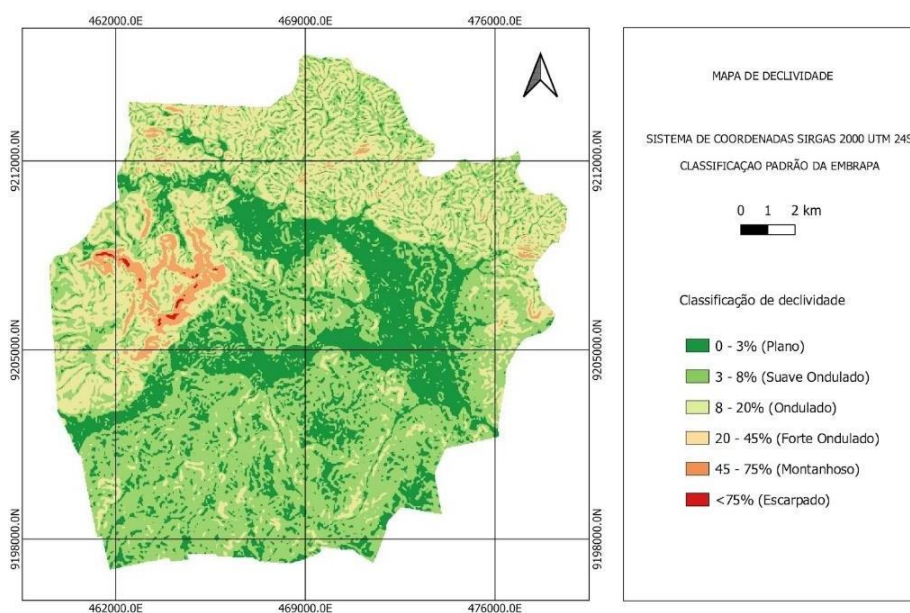
Fonte: Autor (2023)

4.3. Análise dos efeitos do avanço da urbanização

4.3.1. Tempo de concentração

O tempo de concentração foi determinado pelos métodos SCS Lag, Desbordes e Schaake. Para aplicação dos métodos foram usados os valores de CN definidos, comprimento e declividade média da bacia e, a área impermeável da área de estudo, considerada como a área de infraestrutura urbana. Para determinar o comprimento de talvegue considerou-se o caminho mais longo e com menor declividade que uma gota de chuva percorreria. Para isso, utilizou-se da análise de declividade da Figura 12 e as ferramentas de calculadora inseridas no software QGIS. O talvegue pode ser observado em destaque na Figura 13.

Figura 12 - Mapa de declividade da sub-bacia de Juazeiro do Norte-CE



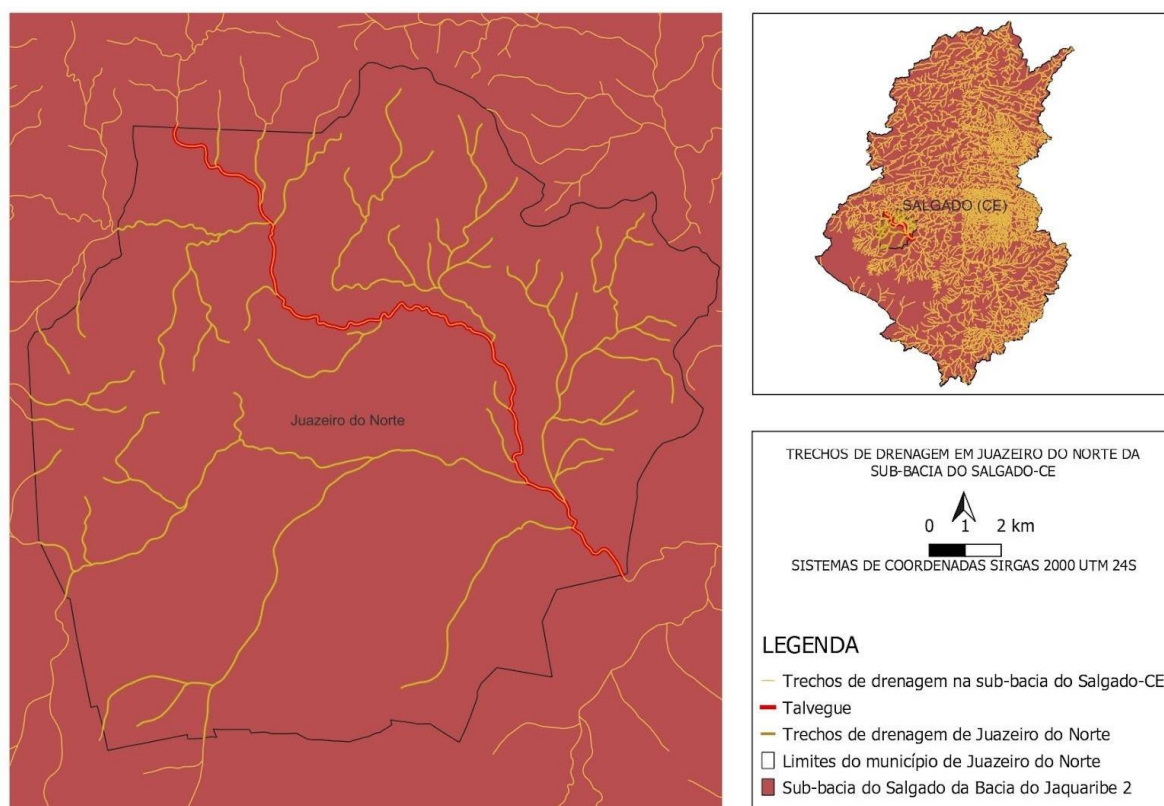
Fonte: Autor (2023)

Tabela 13 - Área impermeável da sub-bacia de Juazeiro do Norte-CE

Área impermeável (km ²)		
1991	2006	2021
31,28	37,24	50,47

Fonte: Autor (2023)

Figura 13 - Talvegue escolhido para a microbacia de Juazeiro do Norte-CE



Fonte: Autor (2023)

O comprimento do talvegue obtido foi de 22,81 Km e sua declividade média de 0,0022 m/m. De posse dos dados necessários, calculou-se o tempo de concentração e adotou-se a média aritmética para os três cenários.

Tabela 14 - Tempo de concentração os cenários de 1991, 2006 e 2021

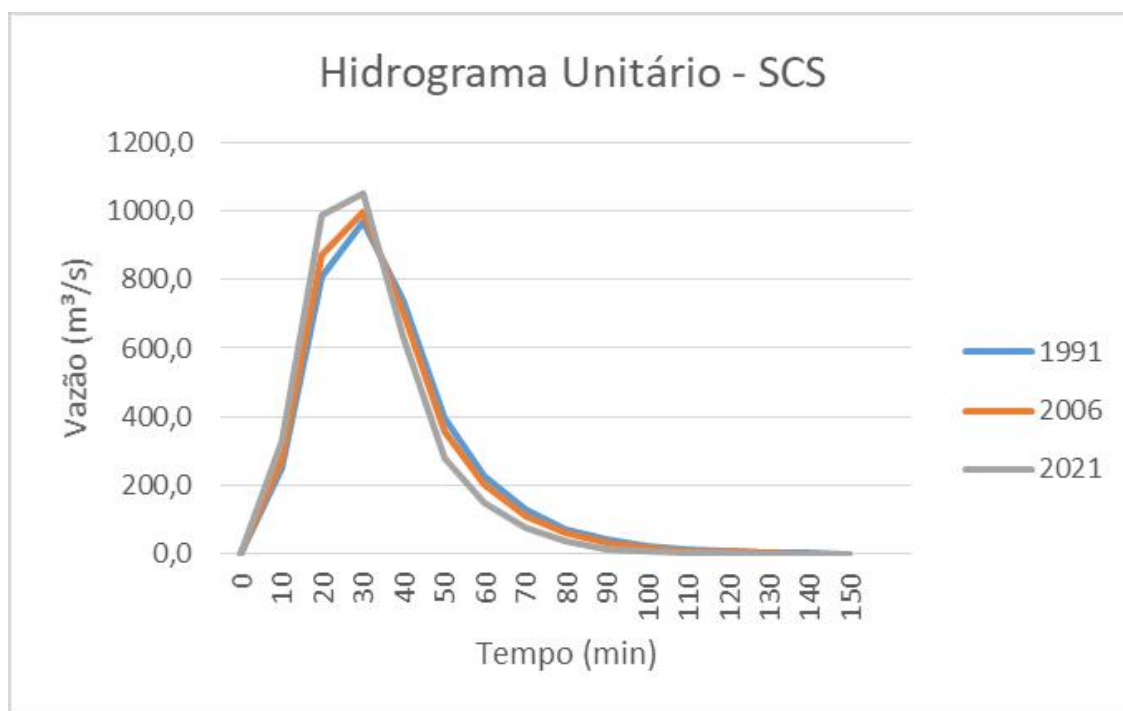
Métodos	1991	2006	2021
	Tempo de concentração (tc) em minutos		
SCS Lag	66,78	65,12	64,03
Schaake et al	11,45	10,94	10,11
Desbordes	62,11	57,40	50,03
tc médio adotado	47	45	42

Fonte: Autor (2023)

4.3.2. Vazão de projeto pelo método SCS

Para determinação das vazões pelo método SCS, utilizou-se a área da sub-bacia (km^2) e o tempo de concentração (t_c) estimado para os três cenários de estudo. Inicialmente, foi construído o hidrograma unitário para definir o escoamento superficial direto e observar a influência das mudanças nos três cenários.

Figura 14 - Hidrograma Unitário pelo método SCS para os cenários



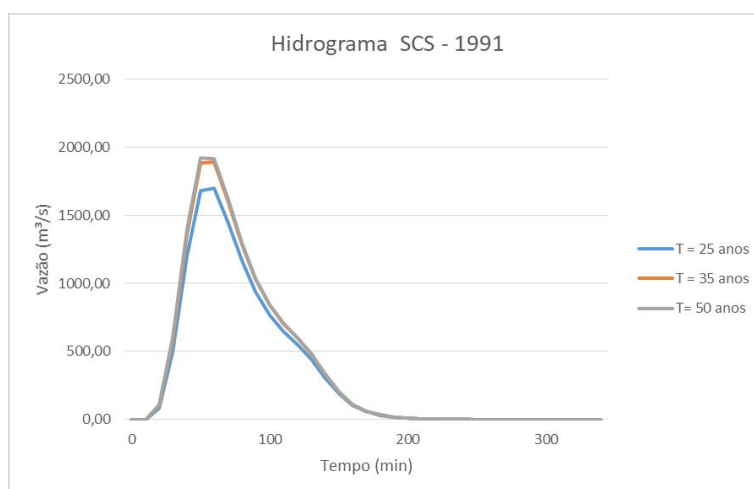
Fonte: Autor (2023)

Observou-se que o tempo de pico para os três cenários é de 30 minutos, entretanto com a mudança de cenário a vazão de pico é maior. Isso ocorre devido ao aumento da área impermeável, cujo escoamento superficial é maior.

A partir do hidrograma unitário foram construídos os hidrogramas de cheias, considerou-se a chuva excedente em centímetros para uma relação com altura de chuva de 1 centímetro. Foi considerado uma duração de chuva de 2 horas, sendo os parâmetros de CN e precipitação determinados para cada cenário já inseridos nas chuvas excedentes calculadas. O tempo de retorno considerado foi de 25, 35 e 50 anos.

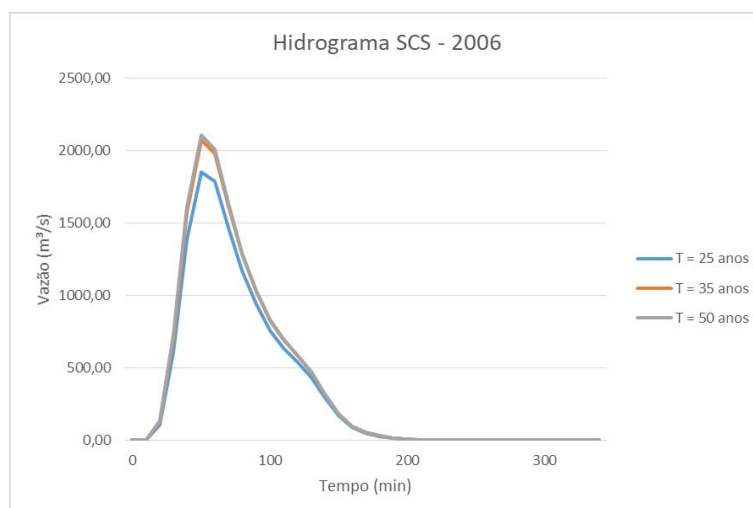
A partir do hidrograma é possível analisar a vazão na microbacia relacionado ao tempo de escoamento. A partir dessa relação, é possível estudar o comportamento da microbacia no escoamento superficial.

Figura 15 - Hidrograma de cheia pelo método SCS para o cenário de 1991



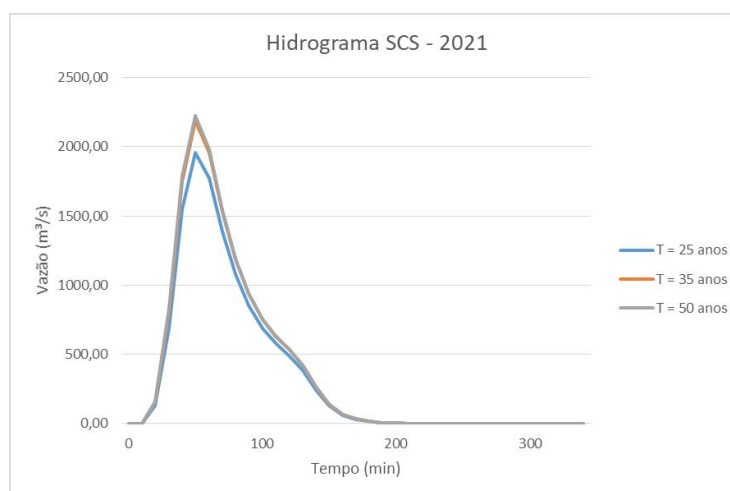
Fonte: Autor (2023)

Figura 16 - Hidrograma de cheia pelo método SCS para o cenário de 2006



Fonte: Autor (2023)

Figura 17: Hidrograma de cheia pelo método SCS para o cenário de 2021



Fonte: Autor (2023)

Nos hidrogramas de cheia dos três cenários, observou-se que o tempo de pico ocorre em 50 minutos, entretanto as vazões máximas aumentam.

4.3.3. Vazão de projeto pelo método Santa Bárbara

Para determinação das vazões pelo método Santa Bárbara, utilizou-se da fração (d) de área impermeável (km^2/km^2) e o coeficiente de retardo (d) calculado para os cenários de 1991, 2006 e 2021. Os hidrogramas foram construídos a partir da chuva excedente de 2 horas (120 minutos), considerando um intervalo de tempo (Δt) de 10 minutos no qual enquadra no critério de intervalos com o tempo de concentração de cada período. O valor de d e K_r podem ser observados na Tabela 15.

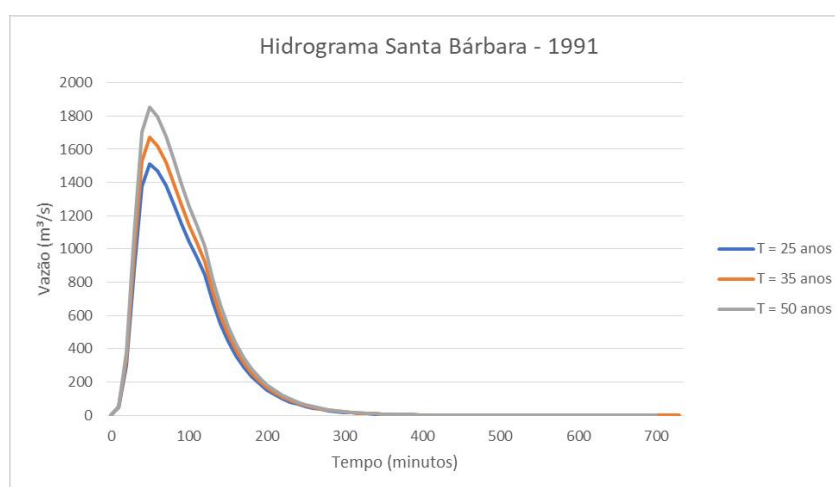
Tabela 15 - Dados de área impermeável e coeficiente de retardo da sub-bacia

	1991	2006	2021
d	0,1209	0,1439	0,1950
K_r	0,0962	0,1000	0,1064

Fonte: Autor (2023)

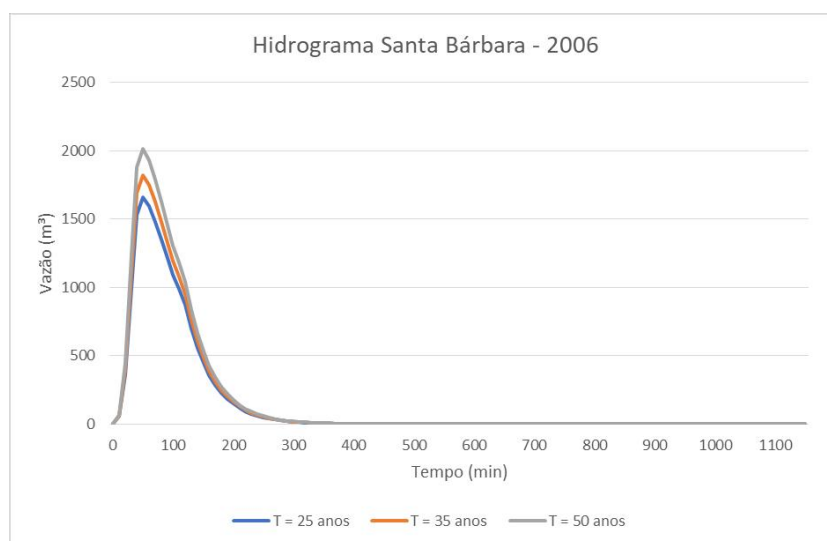
A partir dos dados, foram construídos os hidrogramas de cheia para os 3 cenários (Figuras 18, 19 e 20). Observou-se pelo método SCS, que os tempos de pico são os mesmos para todos os cenários (50 minutos) e a vazão de pico é maior conforme ocorre o aumento da infraestrutura urbana.

Figura 18 - Hidrograma de cheia pelo método Santa Bárbara para o cenário de 1991



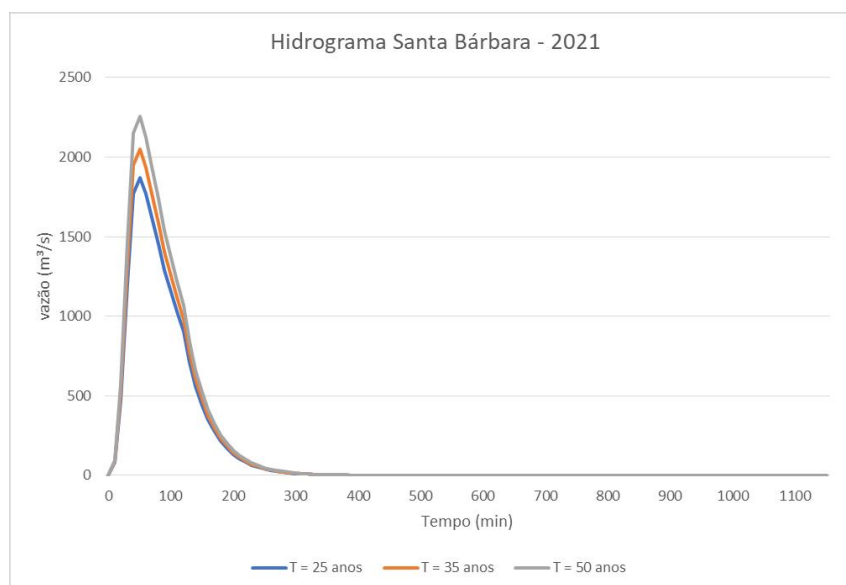
Fonte: Autor (2023)

Figura 19 - Hidrograma de cheia pelo método Santa Bárbara para o cenário de 2006



Fonte: Autor (2023)

Figura 20 - Hidrograma de cheia pelo método Santa Bárbara para o cenário de 2021



Fonte: Autor (2023)

4.3.4. Diagnóstico dos efeitos das mudanças no território

A partir da análise dos hidrogramas de cheia obtidos pelos métodos SCS e Santa Bárbara, para os Cenários (1991, 2006 e 2001), foi possível constatar um incremento na vazão de projeto em ambos os métodos, de acordo com o avanço da área urbana.

No método Santa Bárbara, verificou-se um aumento médio de 8,24% na vazão entre os anos de 1991 e 2006; já para os anos entre 2006 e 2021 o acréscimo médio foi de 12,49%. Pelo método SCS observou-se um incremento médio maior entre os anos de 1991 a 2006 com 9,38%, enquanto que entre 2006 e 2021 o incremento médio foi de 5,64%.

As vazões máximas são parâmetros importantes para construção de projetos de drenagem e projetos para controle de cheias. Ao observar as vazões em diferentes cenários de uso e ocupação do solo permite que o planejamento urbano seja mais assertivo, ao considerar os efeitos que as mudanças na microbacia causam.

O incremento ocorrido em cada método nos três cenários para os períodos de retorno de 25, 35 e 50 anos pode ser analisado na Tabela 16. Com o avanço da mancha urbana e conseqüentemente menor área de infiltração, ocorre o aumento do escoamento superficial tornando a região mais propensa a alagamentos, inundações e degradação do solo impermeável no decorrer do tempo.

Tabela 16 - Diagnóstico das vazões para cada cenário avaliado

T	Cenário	%Incremento mancha urbana	SANTA BÁRBARA		SCS	
			Vazão (m ³ /s)	%Incremento	Vazão (m ³ /s)	%Incremento
25 anos	1991	-	1551,84	-	1697,51	-
	2006	18,68%	1656,53	6,75%	1851,04	9,04%
	2021	35,50%	1872,7	13,05%	1958,79	5,82%
35 anos	1991	-	1670,54	-	1890,05	-
	2006	18,68%	1823,86	9,18%	2070,54	9,55%
	2021	35,50%	2051,6	12,49%	2186,85	5,62%
50 anos	1991	-	1853,61	-	1923,46	-
	2006	18,68%	2016,48	8,79%	2107,42	9,56%
	2021	35,50%	2257,01	11,93%	2222,98	5,48%

Fonte: Autor (2023)

5. CONCLUSÕES

A formação dos cenários de uso e ocupação do solo da microbacia de Juazeiro do Norte-CE, permitiu observar e quantificar as mudanças no uso e ocupação do solo da microbacia. Podendo ser observado o avanço nas áreas urbanas e de uso da agricultura e, conseqüente alteração das áreas permeáveis da região.

A determinação dos parâmetros para o estudo hidrológico da microbacia possibilitou a determinação das chuvas excedentes para os três cenários analisados, apontando que conforme há mudanças no território ocorrência de precipitação torna-se maior, sendo que para os cenários de 2006 e 2021 esse aumento é insignificante. Ao analisar o tempo de pico é idêntico em todos os cenários analisados.

A determinação das vazões a partir dos métodos SCS e Santa Bárbara possibilitou determinar o impacto que as alterações no uso e ocupação do solo acarretam no escoamento superficial. Sendo observado em ambos os métodos o aumento das vazões em todos os cenários, sendo que no método Santa Bárbara o incremento foi maior. Para utilização dos métodos deve-se ter cautela, considerando que são baseados em cenários e parâmetros diferentes, trazendo certo nível de incerteza e não obtendo resultado exato.

Com a diminuição das áreas permeáveis da microbacia de Juazeiro do Norte-CE, aliada ao desenvolvimento urbano desenfreado e, conseqüente aumento das vazões, ocorre o aumento do escoamento superficial direto. Esse aumento, pode acarretar em alagamentos nas áreas urbanas. Nesse contexto, indica-se que o processo de planejamento urbano e obras de drenagem seja direcionado para implementação de soluções para macrodrenagem e microdrenagem das áreas urbanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAN, A OSMAN. Urban Stormwater Hydrology. Lancaster, Pennsylvania: Technomic, 1993, ISBN 0-87762-967-6, 268 pp.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Brasil, Ministério do Desenvolvimento Regional.

BAPTISTA, MB **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3 /** . [sl] Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte: ReCESA, 2020. 52 p

BATISTA, MB; DE OLIVEIRA NASCIMENTO, N. **Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7, p. 29-49, 2002.

CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. Engineering Sciences, v.8, n.2, p.1-9, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.002.0001>

Chuva de 127 mm em Juazeiro do Norte alaga ruas e deixa moradores em alerta.G1. JUAZEIRO DO NORTE-CE Disponível em: <<https://g1.globo.com/ce/ceara/cariri/noticia/2022/10/26/chuva-de-127-mm-em-juazeiro-do-norte-alaga-avenida-e-deixa-moradores-em-alerta.ghtml>>. Acesso em: 14 dez. 2022.

Chuvas causam alagamentos e arrastam veículos em Juazeiro do Norte e Crato, no sul do Ceará. G1. JUAZEIRO DO NORTE-CE Disponível em: <<https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2020/03/25/chuvas-causam-alagamentos-e-arrastam-veiculos-em-juazeiro-do-norte-e-crato-no-sul-do-ceara.ghtml>>. Acesso em: 14 dez. 2022.

COLLISCHONN, W.; **DORNELLES**, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. [sl] 2013, [sd].

CURITIBA, GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba- PR**. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA). Curitiba, 2002.

SILVEIRA, ALL Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.1 Jan/Mar 2005, 5-23**, [sd].

DE MACÊDO, DF **ESTUDO DOS PLANOS DIRETORES DE DRENAGEM URBANA DE CIDADES BRASILEIRAS**. [sl] UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA CAMPUS VIII – ARARUNA, 2021.

GUTJAHR, R. **Desastres Naturais - Caderno de Educação Ambiental do Governo de São Paulo** . [sl: sn].

LICCO, SFMD Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócios psicológicos e governança. **Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística - Vol. 5 no 3 -** , 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

Feltran-Filho AF, Lima SC, Rosa R. Mapeamento do uso do solo no município de Uberlândia – MG, através de imagens TM/LANDSAT. *Sociedade & Natureza* 1989; 1(2):127-145.

G1 CE - Juazeiro do Norte decreta situação de emergência por causa das fortes chuvas. Jornal O GLOBO. Ceará, 2018.

IAS- INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **Municípios e Saneamento.** São Paulo, 2019.

MENDES, H. C. Urbanização e impactos ambientais: Histórico de Inundações e Alagamentos na Bacia do Gregório, São Carlos - SP. 2005. 149f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MONTES, R. M.; LEITE, J. **A drenagem urbana de águas pluviais e seus impactos cenário atual da bacia do córrego vaca – brava Goiânia – GO.** Universidade Católica de Goiás - Departamento de Engenharia - Engenharia Ambiental, Goiânia - GO.2012.

MOREIRA, L. L. **ANÁLISE DO IMPACTO DA EVOLUÇÃO URBANÍSTICA SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 2014.

MOURA, PM **CONTRIBUIÇÃO PARA A AVALIAÇÃO GLOBAL DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA.** MINAS GERAIS: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2004.

PALÁCIO, O. D.; OLIVEIRA, C. W.; MEIRELES, A. C. M. SOUZA JÚNIOR, T. G. **Análise da susceptibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte, Ceará.** REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA v 14, n. 4 (2021) 2204-2219

RODRIGUES, J. O. et al. EQUAÇÕES DE INTENSIDADE – DURAÇÃO – FREQUÊNCIA DE CHUVAS PARA AS LOCALIDADES DE FORTALEZA E PENTECOSTE, CEARÁ. *Scientia Agraria, Curitiba*, v.9, n.4, p.511-519, 2008. , [s.d.].

SOUSA, S. P. C. **Avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento superficial por meio de simulação hidrológica.** JOÃO PESSOA: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB, 2016

TASSI, R. **EFEITO DOS MICRORRESERVATÓRIOS DE LOTE SOBRE A MACRODRENAGEM URBANA**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2002.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. [s.l.] 2010, [s.d.].

TUCCI CARLOS E. M. **Gestão da drenagem urbana**/Carlos E. M. Tucci. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012.

TUCCI, C. E. M. Parâmetros do Hidrograma Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 8 n.2 Abr/Jun 2003, 195–199**, [s.d.].

VILLELA; MATOS. **Hidrologia Aplicada**. [s.l.] McGraw-Hill, São Paulo - SP, 1975, 1975.