



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



AIRTON DANILO DE SOUSA OLIVEIRA

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE URBANIZAÇÃO E ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DIRETO ATRAVÉS DO MÉTODO *SOIL CONSERVATION
SERVICE***

Cajazeiras
2020

AIRTON DANILO DE SOUSA OLIVEIRA

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE URBANIZAÇÃO E ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DIRETO ATRAVÉS DO MÉTODO *SOIL CONSERVATION
SERVICE***

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: **Cinthyia Santos da Silva**

Cajazeiras
2020

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

O48a

Oliveira, Airton Danilo de Sousa

Análise da relação entre urbanização e escoamento superficial direto através do método soil conservation service / Airton Danilo de Sousa Oliveira; orientador Cinthya Santos da Silva.- Cajazeiras, 2020.

53 f.: il.

Orientador: Cinthya Santos da Silva.

TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

1. Hidrologia 2. Escoamento superficial direto 3. Urbanização I.
Título

556(0.067)

AIRTON DANILO DE SOUSA OLIVEIRA

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE URBANIZAÇÃO E ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DIRETO ATRAVÉS DO MÉTODO *SOIL*
*CONSERVATION SERVICE***

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA



Cinthya Santos da Silva – IFPB-Campus Cajazeiras
Orientadora



Cicero de Souza Nogueira Neto – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinador



Cinthia Maria de Abreu Claudino – UFPB-Campus João Pessoa
Examinadora

Dedico este trabalho aos meus pais Antônio João e Maria do Céu, e aos meus irmãos Arthur Diego e Aline Dayane, que foram minha maior força para trilhar essa jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e todos os outros dons concedidos a mim sem os quais eu não conseguiria enfrentar esta jornada de cinco anos.

Aos meus pais, Antônio João e Maria do Céu, por todo o amor e paciência, por sempre me apoiarem durante este caminho, e por me fazerem entender que a maior riqueza que possuo está em casa. Aos meus irmãos, Arthur Diego e Aline Dayane, porque são uma outra parte de mim, e nossa união sempre proporcionou os melhores momentos da minha vida.

À minha madrinha Corrinha, que mesmo a distância não cessa suas orações por mim. À Jociélia, pelo carinho e por dar verdadeiro significado à amizade.

À Sara Jamille, amiga que se tornou irmã neste último ano de graduação, por compartilhar comigo sua vida, me aconselhando e ofertando de seus dons, dando um suporte único para o desenvolvimento deste trabalho. À Luan e Alda, amigos maravilhosos que fiz no IFPB, pelo carinho e bons momentos vividos juntos.

Aos amigos da graduação, Dafi, Sâmia, Judivan, Paulena e Samuel, por compartilharem todo o esforço, dedicação e paciência nesses últimos cinco anos e juntos vencermos esta etapa de nossas vidas.

À professora Cinthya Santos, pela dedicação, confiança e paciência nas orientações de desenvolvimento deste trabalho. Ao professor Cícero Neto, por orientar sobre as melhores representações para os mapas temáticos do trabalho.

Ao IFPB – *Campus Cajazeiras*, por todo conhecimento ofertado nestes dez anos como aluno, do ensino médio à graduação.

Por fim, a todos que contribuíram nesta minha jornada e me ajudaram a chegar até aqui. Gratidão por tudo!

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano. Mas o que seria o oceano se não infinitas gotas?”

(Isaac Newton)

RESUMO

A crescente expansão da população brasileira em áreas urbanas tem acarretado mudanças constantes no uso e ocupação do solo. A mudança mais impactante, do ponto de vista hidrológico, está no aumento das áreas impermeáveis que torna a bacia urbana vulnerável a ocorrência de inundações e alagamentos. Desta maneira, torna-se necessário utilizar-se de metodologias que permitam estimar o escoamento superficial direto, relacionando-o com a urbanização das cidades, a fim de identificar e prevenir possíveis áreas propensas a alagamentos. Dentre as metodologias, uma das mais adotadas é o Método do Número da Curva (CN-SCS) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA) atual Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS). Este método permite estimar o escoamento superficial direto para bacias urbanas de acordo com as suas características de clima, solo, uso e ocupação do solo e condições de umidade antecedentes, considerando as perdas iniciais de precipitação neste período. A partir disto, este trabalho realizou uma análise do escoamento superficial e sua relação com a urbanização do Bairro Jardim Oásis, na cidade de Cajazeiras/PB, para um período de dez anos (2009-2019) utilizando-se de imagens de satélite para produção de mapeamentos de uso e ocupação do solo, análise de equações de chuvas intensas para estimativa da precipitação máxima no período e revisões de literatura para classificação do solo, de acordo com os grupos hidrológicos elencados pelo método. Os resultados apresentados mostram que na ocupação do solo houve um aumento gradativo das áreas urbanizadas e consequente diminuição das áreas não urbanizadas, e isto se refletiu no aumento do escoamento superficial direto, contrastando com a diminuição da retenção potencial máxima de água no solo. Certa imprecisão ainda está presente nos resultados, entretanto, devido a subjetividade existente no processo de classificação das áreas para produção dos mapas de uso e ocupação do solo; sendo estas crescentes com a diminuição da resolução das imagens de satélite disponíveis para a região.

Palavras-Chave: Escoamento superficial direto; Método CN-SCS; Urbanização.

ABSTRACT

The increasing expansion of the Brazilian population in urban areas has caused constant changes in the use and occupation of the soil. The most impacting change, from a hydrological point of view, is in the increase of impermeable areas, which makes the urban basin vulnerable to flooding and inundation. Therefore, it becomes necessary to use methodologies that allow to estimate the direct surface runoff, relating it to the cities urbanization in order to identify and prevent possible areas prone to floodings. Among the methodologies, one of the most adopted is the Curve Number Method (CN-SCS) developed by the U.S. Department of Agriculture's Soil Conservation Service (SCS-USDA), current Natural Resources Conservation Service (NRCS). This method allows to estimate the direct surface runoff to urban basins according to their characteristics of climate, soil, land, soil use and occupation and previous humidity conditions, considering the precipitation initial losses in this period. Based on this, this work performed an analysis of the surface runoff and its relation to the Borough Jardim Oásis urbanization, in the city of Cajazeiras/PB, for a period of ten years (2009-2019) using satellite images to the mappings production of soil use and occupation, analysis of intense rainfalls equations to the maximum precipitation estimative in the period and literature reviews to the soil classification, according to the hydrological groups listed by the method. The presented results show that in the soil occupation there was a gradual increase of the urbanized areas and consequent decrease of the non-urbanized areas, and this reflected in the increase of the direct surface runoff, in contrast to the decrease of maximum potential of water retention in the soil. Although, some imprecision is still present in the results, on account of the subjectivity existent in the process of areas classifications to produce maps of the soil use and occupation; being these increased by the decrease of the satellite images resolution available for the region.

Keywords: Direct surface runoff; CN-SCS Method; Urbanization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Hidrograma típico resultante da ocorrência de uma precipitação em área contribuinte.....	21
Figura 2 - Comparação entre hidrogramas de uma bacia rural e depois na situação urbanizada	22
Figura 3 - Variáveis do método CN-SCS para determinação das perdas de precipitação	25
Figura 4 - Altura da lâmina de escoamento superficial direto (Q) estimada em função de P e de CN	26
Figura 5 - Fluxograma de desenvolvimento do trabalho	29
Figura 6 - Localização do município de Cajazeiras/PB	30
Figura 7 - Localização do Bairro Jardim Oásis dentro do perímetro urbano da cidade de Cajazeiras/PB.....	30
Figura 8 - Precipitações média mensal e acumulada anual da cidade de Cajazeiras (2009-2019)	31
Figura 9 - Precipitação máxima anual (mm) em Cajazeiras (2009-2019)	32
Figura 10 - Uso e Ocupação do Solo do Bairro Jardim Oásis (2009).....	36
Figura 11 - Uso e Ocupação do Solo do Bairro Jardim Oásis (2013).....	36
Figura 12 - Uso e Ocupação do Solo do Bairro Jardim Oásis (2016).....	37
Figura 13 - Uso e Ocupação do Solo do Bairro Jardim Oásis (2019).....	37
Figura 14 - Variações do valor de P_e (mm) e S (mm) nas CUAs	41
Figura 15 - Relação entre os valores de P_e (mm) obtidos na CUA II com as áreas urbanizadas e não-urbanizadas	42
Figura 16 - Composição do uso do solo do Bairro Jardim Oásis e valores de CN.....	43
Figura 17 - Crescimento de P_e (mm) em relação ao ano de 2009 e aumento das áreas urbanizadas	44
Figura 18 - Bairro Jardim Oásis (2009)	50
Figura 19 - Bairro Jardim Oásis (2013)	51
Figura 20 - Bairro Jardim Oásis (2016)	52
Figura 21 - Bairro Jardim Oásis (2019)	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos grupos hidrológicos e capacidades de infiltração dos solos.....	26
Tabela 2 - Limites da precipitação para estimativa das condições de umidade antecedentes..	27
Tabela 3 - Valores de CN para áreas urbanas (CUA II, $I_a = 0,2S$)	28
Tabela 4 - Classes de solo utilizadas para mapeamentos de uso e ocupação do solo do Bairro Jardim Oásis	34
Tabela 5 - Quantitativos de áreas das classes dos mapas de uso e ocupação do solo.....	38
Tabela 6 - Valores de CN para o grupo D e produtos $CN_i A_i$ para estimativa do CN médio ...	39
Tabela 7 - Valores de CN médio, S e P_e para as CUAs	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Imagens de satélite do Bairro Jardim Oásis nos anos de estudo	34
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

CN – Número da Curva

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CUA – Condição de Umidade Antecedente

EUA – Estados Unidos da América

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF – Intensidade-Duração-Frequência

NRCS – Serviço de Conservação dos Recursos Naturais

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SCS – Serviço de Conservação do Solo

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	18
2.1.1 Fatores influenciadores no escoamento superficial direto	19
2.1.2 Hidrograma	20
2.1.3 Efeito da urbanização.....	22
2.2 PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS.....	23
2.3 MÉTODO CN-SCS.....	24
2.3.1 Determinação do Número da Curva (CN).....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E CLIMA	31
3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO CN-SCS	32
3.3.1 Precipitação máxima.....	32
3.3.2 Mapeamento do solo e determinação dos parâmetros CN	33
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	36
4.1 MAPEAMENTOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO	36
4.2 DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO.....	39
5 CONCLUSÃO.....	45
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46

REFERÊNCIAS.....	47
ANEXO A – IMAGENS DE SATÉLITE	50

1 INTRODUÇÃO

A crescente expansão da população brasileira em áreas urbanas tem ocasionado constantes modificações no uso e ocupação do solo, tornando a maior parte das bacias urbanas vulneráveis pelo aumento das áreas impermeáveis. Este processo impacta em consideráveis mudanças no escoamento superficial, sobrecarregando os sistemas de drenagem existentes e aumentando a frequência de alagamentos e cheias (MELO *et. al.* 2014).

Além disso, a impermeabilização ainda altera as características de volume e qualidade da água nas diversas fases do ciclo hidrológico. Dentre as consequências mais acentuadas causadas pelo aumento das áreas impermeáveis destacam-se o aumento da velocidade e das vazões máximas no escoamento superficial, a redução dos tempos de concentração e antecipação dos picos de vazão, e a diminuição do nível do lençol freático causado pela falta de alimentação do aquífero subjacente (COLLODEL, 2009).

Para minimizar essas consequências, o controle do impacto da urbanização é feito através da implementação de uma série de ações ordenadas de forma a buscar equilibrar o desenvolvimento com as condições ambientais das cidades. Para isso, podem ser tomadas medidas de controle estruturais e não estruturais (CANHOLI, 2005; TUCCI, 2002).

As medidas não estruturais estão relacionadas com a preservação e conservação do uso e ocupação do solo, tais como: elaboração de legislação para controle da taxa de impermeabilização do solo na implantação de novos loteamentos; regulamentação de faixas de proteção não edificáveis; aumento de fiscalização e fixação de incentivos fiscais para que terrenos inundáveis não sejam utilizados. Já as medidas estruturais são as obras de engenharia hidráulica, que visam a correção e prevenção dos problemas acarretados pelas inundações e alagamentos (CANHOLI, 2005).

Assim, a utilização de ferramentas que facilitam a realização de ações preventivas e corretivas na drenagem urbana são essenciais para analisar as bacias urbanas de uma forma integrada. Para este fim, necessitam-se aplicar métodos para estimativa de vazões de projeto, nas condições atuais de urbanização e para o futuro da região (BASTOS, 2007; CANHOLI, 2005).

Dentre estes métodos, a estimativa do escoamento superficial é essencial para a avaliação do potencial de rendimento de água em uma bacia hidrográfica, bem como, no planejamento de medidas de conservação do solo e água, redução do assoreamento e riscos de inundações a jusante. Uma das ferramentas para análise desta estimativa é o método do

Número da Curva (CN-SCS) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) atual Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS). Este é um método simples e largamente utilizado em modelos hidrológicos de bacias hidrográficas no mundo, e se baseia na premissa que a lâmina de escoamento superficial, produzida em certo evento de chuva, é uma função da altura total da lâmina precipitada e das perdas iniciais ocorridas principalmente devido as características do terreno, como cobertura vegetal e depressões (MUÑOZ-ROBLES *et. al.*, 2011; TYAGI *et. al.*, 2008).

Em regiões semiáridas, como a cidade de Cajazeiras, no estado da Paraíba, que apresenta um regime de precipitações de alta intensidade e curta duração nos primeiros meses do ano, e não apresenta sistemas de micro e macrodrenagem desenvolvidos, nem possui um Plano Diretor de Drenagem Urbana, a estimativa do escoamento superficial é bastante necessária para identificar e prevenir possíveis alagamentos.

Diante do exposto, este trabalho fará uma estimativa para o escoamento superficial do Bairro Jardim Oásis, na Zona Leste de Cajazeiras, utilizando o Método CN-SCS, e analisará sua relação com a urbanização, a fim de que se possa ter embasamento para futuros projetos de drenagem na cidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a relação entre a urbanização e o escoamento superficial no bairro do Jardim Oásis em Cajazeiras/PB.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as alterações no uso e ocupação do solo no bairro Jardim Oásis, num período de dez anos.
- Determinar os parâmetros Número da Curva (CN) associados às classificações hidrológicas de solo consideradas pelo método CN-SCS no bairro Jardim Oásis da cidade de Cajazeiras/PB;
- Estimar o escoamento superficial em diferentes cenários de urbanização.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado nas seguintes seções:

A seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de escoamento superficial, fatores influenciadores e característica do hidrograma; precipitações máximas e sua representação; Método CN-SCS e o desenvolvimento de sua aplicação.

Na seção 3 é descrito a localização e caracterização da área de estudo, de acordo com o seu solo e clima, a determinação da precipitação máxima para o estudo, e a aplicação do Método CN-SCS para estimação do escoamento superficial direto.

Na seção 4 são apresentados os resultados, sendo discutidos os mapeamentos de uso e ocupação do solo e os valores obtidos para os parâmetros do escoamento superficial direto.

Na seção 5 são descritas as conclusões a partir dos resultados apresentados, além de sugestões para possíveis pesquisas futuras a partir do presente trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial integra a parte do ciclo hidrológico que causa o deslocamento de águas da superfície terrestre, configurando-se como componente primordial para estudos hidrológicos com vistas ao aproveitamento hídrico, dimensionamento de obras hidráulicas e manejo de bacias hidrográficas. Assim, tornou-se um dos assuntos mais observados, estudados e modelados na hidrologia (MELLO e SILVA, 2013).

Este escoamento é originado em decorrência da precipitação, que, caindo em solo saturado, chega à superfície terrestre e se desloca livremente. Em condições naturais, este fenômeno é responsável pelo surgimento de córregos, rios e lagos. O escoamento superficial é perceptível também após chuvas intensas, podendo causar o transporte de sedimentos, originando erosão, ou se acumulando, gerando inundações (ALVES, 2016).

De maneira geral, Porto *et. al.* (1999, p. 2) destaca que

[...] o escoamento superficial começa algum tempo após o início da precipitação. O intervalo decorrido corresponde à ação da interceptação pelos vegetais e obstáculos, à saturação do solo, à acumulação nas depressões do terreno e à formação de uma lâmina d'água mínima (esta lâmina d'água aumenta sua espessura até atingir uma altura mínima, quando a água começa a escoar sobre o solo, iniciando assim o escoamento superficial).

Entretanto, o escoamento superficial total, ou apenas escoamento superficial, é uma composição de três tipos: o escoamento superficial direto, o escoamento subsuperficial, e o escoamento subterrâneo ou escoamento de base. Na ocorrência de precipitações com intensidades maiores que a capacidade de infiltração do solo, fluindo diretamente sobre a superfície, tem-se o escoamento superficial direto. Assim sendo, esta parcela é denominada como precipitação efetiva ou deflúvio superficial. O escoamento subsuperficial é o fluxo que acontece imediatamente abaixo da superfície, na altura das raízes da cobertura vegetal, enquanto o escoamento subterrâneo equivale ao fluxo devido à contribuição do aquífero (região saturada do solo com água em movimento) aos canais superficiais; este é responsável pela alimentação do curso d'água durante o período de estiagem. (MELLO e SILVA, 2013; PORTO *et. al.*, 1999).

2.1.1 Fatores influenciadores no escoamento superficial direto

O escoamento superficial direto pode ser influenciado por fatores de natureza climática, relacionados à precipitação, de natureza fisiográfica, de acordo com as características físicas da bacia hidrográfica, ou através de obras hidráulicas (CARVALHO e SILVA, 2013).

A intensidade da precipitação pode acelerar o processo de saturação do solo, diminuindo sua capacidade de infiltração e gerando um excesso precipitado que correrá superficialmente. Neste contexto, chuvas de intensidade constante proporcionam condições favoráveis ao escoamento quanto maior forem sua duração. Precipitações antecedentes também facilitam o escoamento, uma vez que o solo se encontra úmido devido a chuvas anteriores; este fator é conhecido como umidade de solo antecedente. Neste caso, precipitações de origem convectiva (alta intensidade e curta duração) são objetos de interesse no estudo de cheias em bacias hidrográficas ou áreas urbanas (MELLO e SILVA, 2013; CARVALHO e SILVA, 2006).

Acerca dos fatores fisiográficos, os atributos e relevo dos solos têm atenção especial, pois, segundo Alves (2016), as bacias que apresentam solos com maior permeabilidade geram cheias de menor magnitude, devido a sua alta taxa de infiltração que reduz a parcela associada ao escoamento superficial direto. Para Carvalho e Silva (2006), os fatores mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração, e a topografia da bacia.

A permeabilidade do solo é um fator preponderante na determinação da capacidade de infiltração do solo, pois quanto mais permeável for o solo, maior sua capacidade de absorver o volume de água, reduzindo o excesso precipitado. Contudo, a variação de permeabilidade do solo deve-se propriamente à sua estrutura, o que determina a capacidade de infiltração e a resistência a erosão. (MELLO e SILVA, 2013; CARVALHO e SILVA, 2006).

A textura do solo, conforme apontado por Alves (2016) é outro fator principal a determinar seu potencial de infiltração, pois, há uma maior dificuldade de infiltração da água no solo, conforme seja menor sua granulometria. No caso de solos do tipo Luvisolo Crômico, presentes em grande parte do semiárido brasileiro, Oliveira *et. al.* (2009) comenta que este tipo apresenta características de grandes perdas de água por escoamento superficial, o que diminui o potencial de lixiviação das águas da chuva. Ademais, Nascimento (2019) aponta que o Luvisolo Crômico apresentou os menores valores de parâmetros para cálculo de erosão, como a erodibilidade em entressulcos e a taxa máxima de desagregação, justificando

que solos com maior estabilidade de agregados em água tendem a ser os menos suscetíveis à erosão hídrica do solo.

Assim que a água passa a escoar sobre a superfície terrestre fica sujeita a ação de forças gravitacionais e forças de capilaridade, que regem os processos de infiltração e distribuição de água no solo. Estas forças podem variar de acordo com o relevo e topografia da bacia, uma vez que solos com relevo mais acidentado aumentam a velocidade do escoamento superficial direto, que, por sua vez, aumenta a taxa de erosão do solo. O relevo ainda é responsável pelo comportamento da microrrede de drenagem, pois a água tende a seguir caminhos preferenciais no solo, conforme a topografia e a presença de obstáculos como rochas, raízes, plantas e etc. (ALVES, 2016; PAZ, 2004).

Por fim, as obras de engenharia hidráulica, tais como barragens, conforme apontado por Carvalho e Silva (2006), reduzem as vazões máximas do escoamento superficial e retardam a sua propagação.

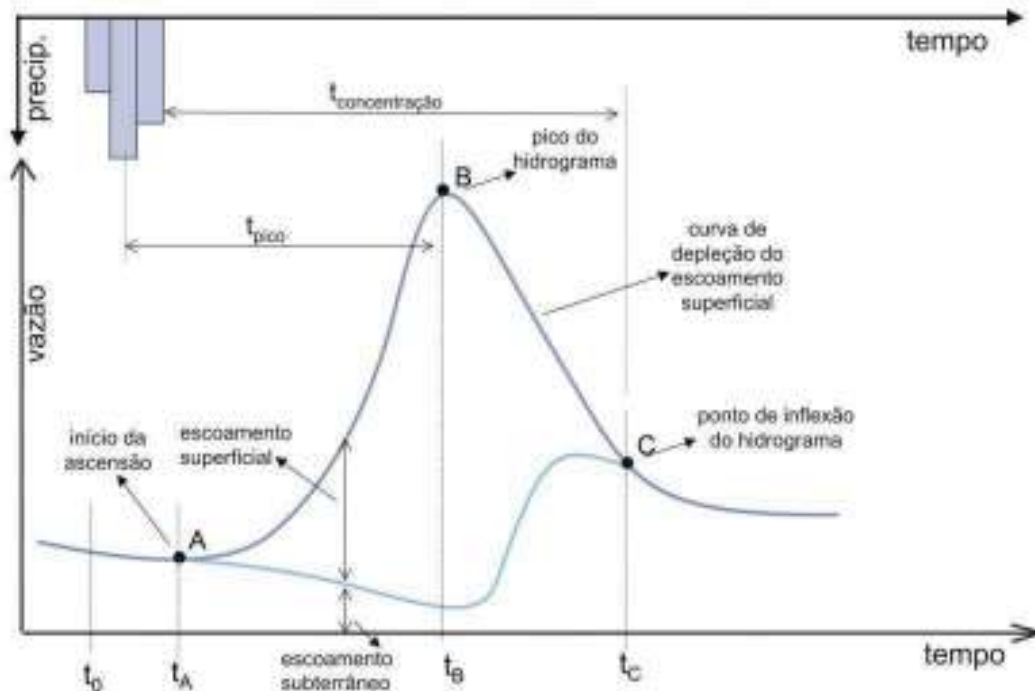
2.1.2 Hidrograma

O hidrograma ou hidrógrafa, é uma representação gráfica da variação da vazão que passa por uma determinada seção de controle ao longo do tempo. De maneira geral, a água precipitada que chega a uma determinada seção de um rio, passa por um longo caminho, abarcando outras etapas do ciclo hidrológico, como: evaporação, transpiração, infiltração, e etc. Assim, entende-se que o hidrograma (curva) representa a resposta da entrada de precipitação em uma área contribuinte, neste caso a bacia hidrográfica. Este comportamento é influenciado por fatores particulares de cada bacia hidrográfica, tais como: relevo, cobertura e forma da bacia, duração e distribuição espaço temporal da precipitação, condições do solo, e modificações artificiais na rede de drenagem (MELLO e SILVA, 2013; PAZ, 2004).

Para um rio, o hidrograma se refere a uma seção transversal específica, já que ao longo do seu curso o rio vai recebendo mais contribuições (volumes de água) e aumentando sua vazão, de jusante para montante. Assim, tomando uma determinada seção de um rio, o hidrograma correspondente indica o volume de água escoado por unidade de tempo através daquela seção. (Paz, 2004, p. 47)

A partir da Figura 1, pode-se observar o comportamento de um hidrograma típico de uma bacia, e alguns pontos característicos dos escoamentos.

Figura 1 - Hidrograma típico resultante da ocorrência de uma precipitação em área contribuinte



Fonte: Paz (2004)

Dentre os pontos mostrados, destacam-se quatro trechos distintos: (CARVALHO E SILVA, 2006; PAZ, 2004):

- Até o ponto A o escoamento é devido unicamente à contribuição do lençol freático (escoamento subterrâneo), por isso a vazão decresce;
- A curva do ponto A ao B, ou trecho de subida é o trecho de ascensão do hidrograma, representando a vazão da área que começa a subir em A, alcançando o pico máximo no ponto B. Neste trecho, a parcela de precipitação excede a capacidade de infiltração. Dá-se início a formação do escoamento superficial direto, que aumenta a vazão ao passo que aumenta a área de contribuição para o escoamento;
- A curva do ponto B ao C, conhecida como trecho de depleção do escoamento superficial direto, acontece porque quando a precipitação se encerra, reduz-se gradualmente a área de contribuição do escoamento superficial;
- A partir do ponto C, volta-se a ter apenas a contribuição do escoamento subterrâneo. Este trecho é denominado curva de depleção do escoamento de base.

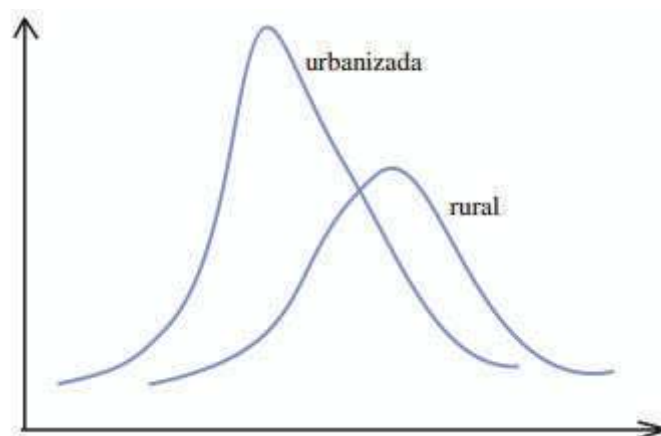
Desta forma, como afirma Alves (2016) é evidente a necessidade de separar estes dois fenômenos distintos no hidrograma, uma vez que, devido a sua maior velocidade, o escoamento superficial direto é preponderante na formação de enchentes e alagamentos.

2.1.3 Efeito da urbanização

O aumento de áreas urbanizadas em detrimento das áreas rurais tem refletido diretamente no escoamento superficial, uma vez que estas áreas apresentam comportamentos diferentes em relação a capacidade de infiltração e de armazenamento de água precipitada. Essa análise é bastante importante e tem sido frequentemente abordada nos estudos de hidrologia urbana. Nesse contexto, o principal aspecto considerado é o efeito da urbanização no potencial de cheia de pequenas bacias hidrográficas urbanas (SANTOS, 2019).

Paz (2004) enfatiza que as áreas urbanas apresentam quase toda a área coberta por superfícies impermeáveis, fazem com que toda a precipitação se torne escoamento superficial, enquanto em áreas rurais parte dessa precipitação se infiltra no solo. Santos (2019), aponta que o aumento dos volumes de escoamento e as taxas de pico do fluxo são os principais efeitos da urbanização no hidrograma de cheia (Figura 2).

Figura 2 - Comparação entre hidrogramas de uma bacia rural e depois na situação urbanizada



Fonte: Paz (2004)

As principais causas para elevação desses parâmetros são (SANTOS, 2019):

- a) devido ao aumento das áreas impermeáveis (estacionamentos, ruas, telhados e etc.) que reduzem a quantidade de água infiltrada;
- b) devido à insuficiência hidráulica dos sistemas de drenagem (canais artificiais, meio-fio, sarjetas) que aumenta a velocidade do escoamento e a magnitude dos picos de cheias.

Deste modo, o modelo hidrológico chuva-vazão CN-SCS, pode ser utilizado para determinar o aumento da quantidade de escoamento superficial direto causado pela urbanização.

2.2 PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS

As precipitações máximas ou chuvas intensas são caracterizadas como aquelas de ocorrência extrema, com duração, distribuição espacial e temporal críticas para uma área ou bacia hidrográfica. Assim, é essencial saber como estimar uma precipitação máxima para uma bacia urbana, pois para implementação de projetos eficientes de drenagem e controle de enchentes ou projetos de vertedouros de barragens e dimensionamentos de canais e bueiros, precisa-se analisar o comportamento destas precipitações de maneira a dimensionar os dispositivos para que comportem a vazão de chuva que vão receber e garantir segurança à população (PAZ, 2004).

Tucci *et. al.* (1995) comenta que os valores de precipitação máxima estão relacionados com os fatores intensidade, duração e frequência. Tais relações são obtidas através de uma longa série de dados de chuvas intensas e representativas da área de interesse de estudo. As relações intensidade-duração-frequência, determinam uma curva de mesmo nome, conhecida como curva IDF. As curvas IDF são expressas por equações de chuvas intensas dadas pela Equação 1.

$$i = \frac{a \times T_r^b}{(t + c)^d} \quad (1)$$

Onde,

i = intensidade de precipitação (mm/h);

T_r = frequência ou período de retorno (anos);

t = duração da precipitação (min);

a, b, c e d = parâmetros característicos de cada local.

O tempo de retorno (T_r) ou período de retorno é o tempo médio para o qual uma determinada precipitação é igualada ou superada em um ano qualquer. Normalmente, em projetos de drenagem urbana as bocas de lobo são dimensionadas para chuvas com 3 a 5 anos de período de retorno, enquanto bueiros e canais são dimensionados para 10 anos (LIMA, 2014).

Para o Método CN-SCS a duração da precipitação é aproximadamente igual ao tempo de concentração da bacia. O tempo de concentração é o tempo necessário que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial (CANHOLI, 2005; TOMAZ, 2002).

2.3 MÉTODO CN-SCS

O Método CN-SCS (*Curve Number – Soil Conservation Service*), desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, é um modelo hidrológico para estimação de escoamento superficial direto conhecido como modelo chuva-vazão, e consiste numa aproximação empírica entre um dado evento de chuva e as condições de superfície da bacia hidrográfica (ALVES, 2016).

De acordo com Portela (2006), o método admite que após uma determinada precipitação, a razão entre a altura de precipitação retida na bacia hidrográfica após o início do escoamento superficial e a capacidade máxima de retenção de água na bacia é igual à razão entre a precipitação excedente e o escoamento superficial potencial (Equação 2). Este último é definido como sendo a diferença entre a precipitação e as perdas iniciais que ocorrem até o encharcamento da superfície.

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (2)$$

Onde,

P : precipitação total (mm);

P_e : precipitação excedente ou escoamento superficial direto (mm);

F_a : altura da precipitação retida na bacia hidrográfica após o início do escoamento superficial (perdas contínuas de precipitação) (mm);

S : retenção potencial máxima de água no solo (mm);

I_a : perdas iniciais (perdas por interceptação, armazenamento em depressões do solo, evapotranspiração e infiltração que antecedem o empoçamento da superfície e a formação do escoamento superficial) (mm);

$P - I_a$: escoamento superficial potencial (mm).

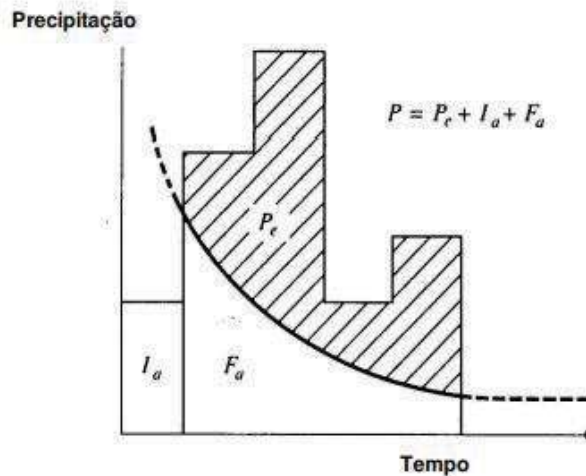
De acordo com o princípio da continuidade, tem-se com base na Figura 3 a Equação 3:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (3)$$

Combinando as Equações 2 e 3, e, isolando P_e , obtém-se a equação geral para estimativa da altura do escoamento superficial direto (Equação 4):

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4)$$

Figura 3 - Variáveis do método CN-SCS para determinação das perdas de precipitação



Fonte: Portela (2006)

A Figura 3 mostra que a precipitação total é formada pelas perdas iniciais (I_a) e as perdas contínuas de precipitação ocorridas devido a infiltração durante o evento de precipitação (F_a). Quando a infiltração real supera a infiltração potencial do solo, expressa pela curva, acrescenta-se a precipitação total a parcela de precipitação excedente (P_e).

Portela (2006) e Porto (1995) citam que estudos experimentais feitos em pequenas bacias hidrográficas estimaram que as perdas iniciais (I_a) correspondem a 20% da retenção potencial máxima (S). Por fim, o escoamento superficial direto é dado pela Equação 5.

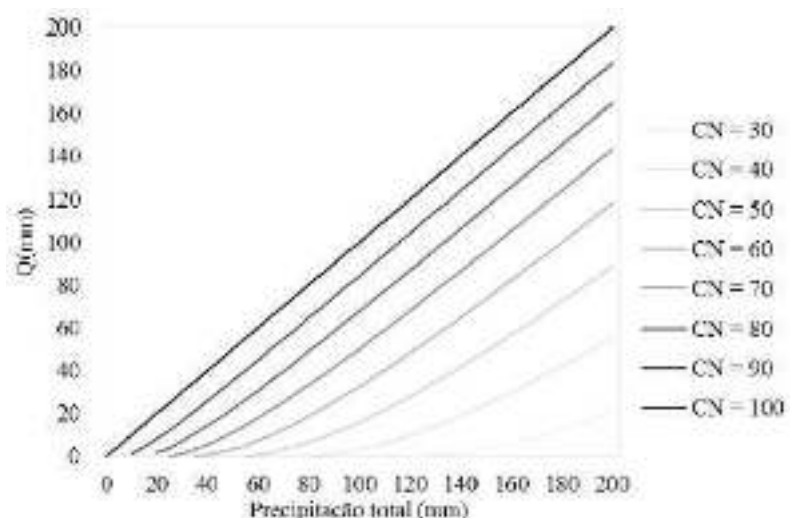
$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (5)$$

O parâmetro S é determinado através da sua relação com o tipo de solo, e suas condições de ocupação e umidade antecedente por meio de um Número da Curva (CN) (Equação 6).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

Na Equação 6, o parâmetro CN é menor ou igual a 100. De acordo com Alves (2016), caso $CN = 0$, toda a precipitação seria absorvida pelo solo e não haveria escoamento superficial, enquanto se $CN = 100$, como para superfícies aquáticas, S será nulo, assim toda a precipitação é convertida em escoamento superficial direto (Figura 4).

Figura 4 - Altura da lâmina de escoamento superficial direto (Q) estimada em função de P e de CN



Fonte: Alves (2016)

2.3.1 Determinação do Número da Curva (CN)

A determinação do valor de CN é feita em função do tipo de solo, da umidade antecedente do solo (condição de umidade anterior à ocorrência de precipitação em análise) e do tipo de ocupação que é desenvolvido na bacia (PAZ, 2004).

O solo, como citado anteriormente, é um fator condicionante na formação do relevo e da topografia da bacia hidrográfica. Assim, o SCS agrupou os solos em quatro categorias distintas, de acordo com sua classificação hidrológica (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação dos grupos hidrológicos e capacidades de infiltração dos solos (continua)

GRUPO HIDROLÓGICO DO SOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO (cm/h)
A	Solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados. Consiste principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. Teor de argila até 10%.	1,20 – 0,80
B	Solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados. Consiste principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Teor de argila de 10% a 20%.	0,80 – 0,40
C	Solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Teor de argila de 20% a 30%.	0,40 – 0,15

D	Solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a esse grupo solos com grande permanência de lençol freático elevado, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Teor de argila acima de 30%.	0,15 – 0,00
---	---	-------------

Fonte: Sartori *et. al.* (2005); Canholi (2005)

(conclusão)

Os valores de CN representados na Figura 4, referem-se a uma curva média de infiltração que separa a parcela de precipitação que escoar superficialmente da parcela que infiltra. Entretanto, o SCS verificou que há uma variabilidade natural da umidade do solo, devido a uma dispersão natural dos pontos em torno desta curva. Assim sendo, necessitou-se considerar o parâmetro condição de umidade antecedente (CUA) para representar esta variabilidade (SARTORI, 2004; PONCE e HAWKINS, 1996).

Foram definidas pelo SCS três condições de umidade antecedentes, tendo por base a precipitação total ocorrida 5 dias antes do evento estudado (Tabela 2). A descrição de cada uma é apontada por Sartori (2004):

- a) **CUA I:** Condição em que os solos de uma bacia hidrográfica estão secos, mas não ao ponto de murchamento das plantas, é quando se ara ou cultiva bem o solo;
- b) **CUA II:** Condição em que os solos se encontram na “umidade ideal”, isto é, nas condições que precederam a ocorrência de uma enchente máxima anual em numerosas bacias hidrográficas;
- c) **CUA III:** Condição em que os solos se apresentam quase saturados, quando da ocorrência de chuvas fortes ou fracas e baixas temperaturas durante 5 dias anteriores a uma determinada precipitação.

Tabela 2 - Limites da precipitação para estimativa das condições de umidade antecedentes

GRUPO CUA	PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NOS 5 DIAS (mm)	
	Estação Seca (julho a dezembro)	Estação Úmida (janeiro a junho)
CUA I	< 13	< 36
CUA II	13 a 28	36 a 53
CUA III	> 28	> 53

Fonte: Mello e Silva (2013)

Na Tabela 3 são apresentados os valores de CN para cada grupo hidrológico do solo, considerando seu uso e condições de superfície.

Tabela 3 - Valores de CN para áreas urbanas (CUA II, $I_a = 0,2S$)

USO DO SOLO	SUPERFÍCIE	GRUPO HIDROLÓGICO DO SOLO			
		A	B	C	D
Espaços abertos (gramados, parques, cemitérios, etc.)	Condição ruim (cobertura com grama < 50% da área)	68	79	86	89
	Condição média (cobertura com grama de 50-75% da área)	49	69	79	84
	Condição boa (cobertura com grama > 75% da área)	39	61	74	80
Áreas impermeáveis	Estacionamentos pavimentados e pistas de rolamento	98	98	98	98
Ruas e estradas	Pavimentadas com calçadas, guias e galerias de drenagem	98	98	98	98
	Pavimentadas com aberturas de valas e fossos para drenos	83	89	92	93
	Apedregulhadas ou com paralelepípedos	76	85	89	91
	De terra	72	82	87	89
Áreas urbanas	Comerciais e empresariais	89	92	94	95
	Industriais	81	88	91	93
Áreas residenciais (em % de área impermeável)	65%	77	85	90	92
	38%	61	75	83	87
	30%	57	72	81	86
	25%	54	70	80	85
	20%	51	68	79	84
	12%	46	65	77	82
	Lotes urbanos (somente áreas permeáveis, sem vegetação)	77	86	91	94

Fonte: Adaptado de Alves (2016) e NRCS (1986)

É importante salientar que os valores de CN dados pela Tabela 3 foram obtidos para condições médias, referentes a CUA II. Nesta condição de umidade, o CN é denotado como CN_{II} . Para solos nas condições de umidade CUA I e CUA III, os valores de CN (CN_I e CN_{III} , respectivamente) precisam ser reajustados de acordo com as Equações 7 e 8.

$$CN_I = \frac{4,2 \, CN_{II}}{(10,0 - 0,058 \, CN_{II})} \quad (7)$$

$$CN_{III} = \frac{23 \, CN_{II}}{(10,0 + 0,13 \, CN_{II})} \quad (8)$$

Lima (2014) aponta que no caso de a bacia de contribuição ser composta por diferentes tipos de cobertura, um CN médio pode ser obtido fazendo uma média ponderada das áreas, de acordo com a Equação 9.

$$CN = \frac{\sum CN_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (9)$$

Onde,

A_i : área do tipo i ;

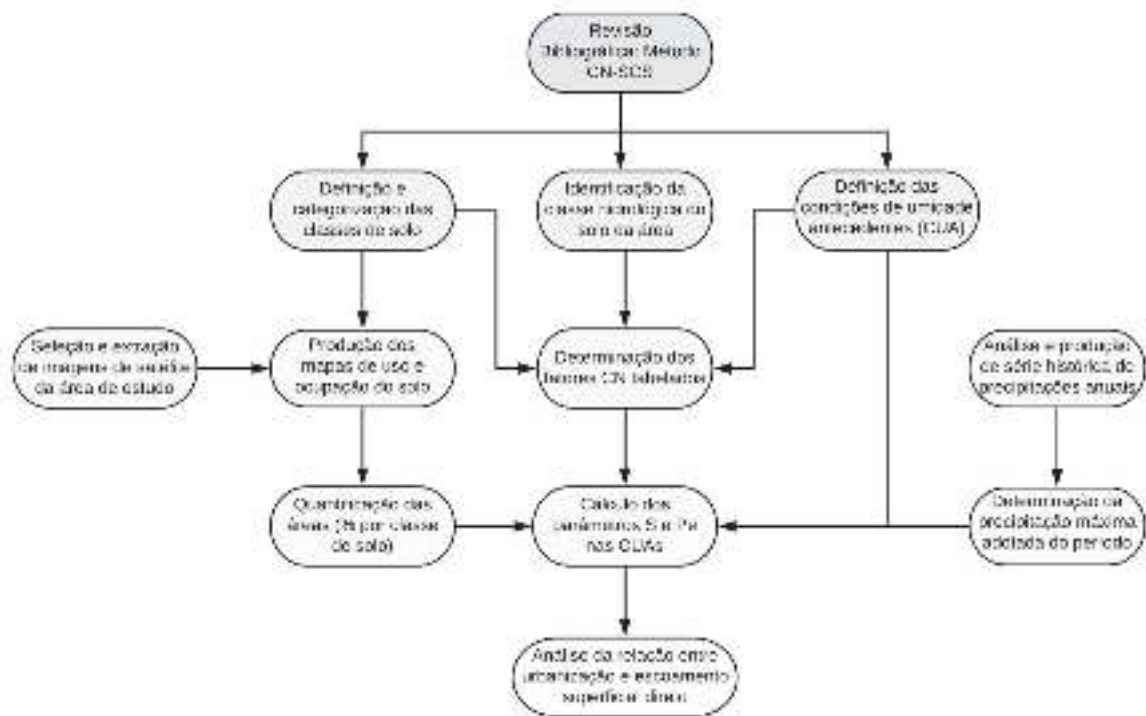
CN_i : coeficiente CN para cada área do tipo i ;

CN: coeficiente CN resultante.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram adotados os procedimentos metodológicos descritos no fluxograma da Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma de desenvolvimento do trabalho

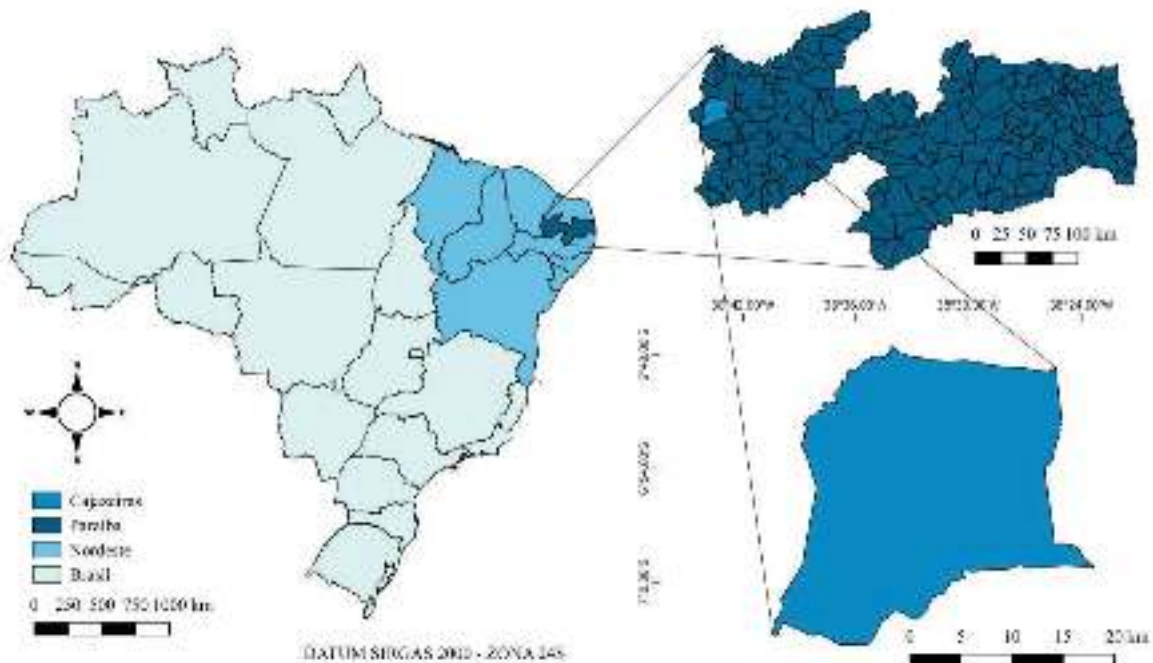


Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Cajazeiras está localizado no extremo Oeste do Estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil, e é sede da Região Geográfica Imediata de Cajazeiras. Limita-se a Oeste com os municípios paraibanos de Bom Jesus e Cachoeira dos Índios, a Sul com São José de Piranhas, a Noroeste com Santa Helena, a Norte e Leste com São João do Rio do Peixe e a Sudeste com Nazarezinho (Figura 6). De acordo com dados do IBGE possui uma população estimada para o ano de 2019 de 61.993 habitantes, configurando-o como 7º município mais populoso do estado, e uma área territorial aproximada em 566 km².

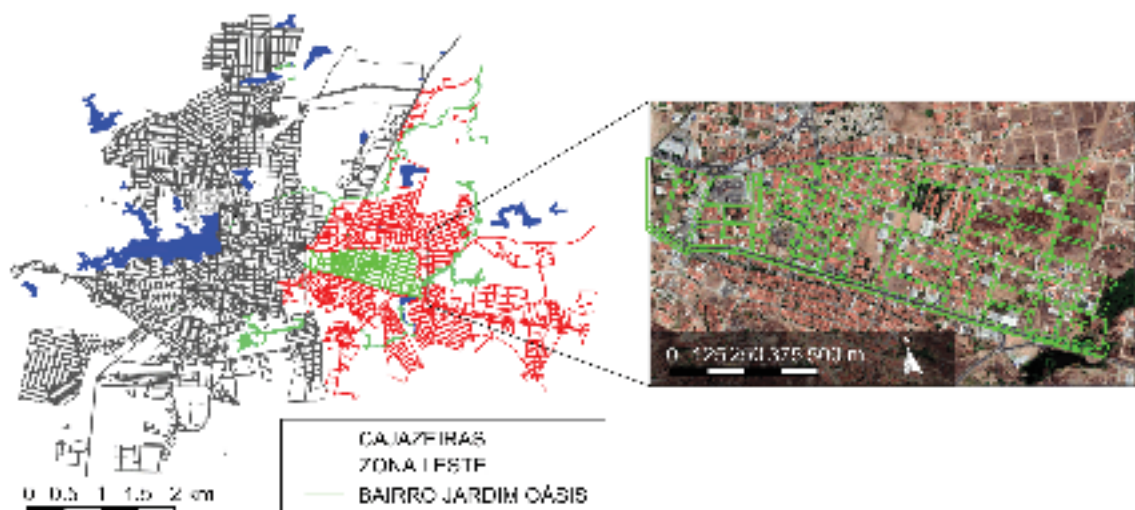
Figura 6 - Localização do município de Cajazeiras/PB



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O trabalho foi desenvolvido na área correspondente ao Bairro Jardim Oásis, que em conjunto com 8 bairros, integra a Zona Leste da cidade de Cajazeiras (Figura 7). O bairro tem apresentado nos últimos anos eventos frequentes de alagamentos durante o período chuvoso. O mesmo é de urbanização antiga e caracterizado como “bairro nobre”, apresenta ocupação majoritariamente residencial, com algumas áreas comerciais à oeste e a sul (principalmente em torno das vias arteriais), zonas escolares ao centro, espaços abertos e loteamentos à leste. A área do bairro estimada é de aproximadamente 668.540 m², equivalendo a 66,85 ha.

Figura 7 - Localização do Bairro Jardim Oásis dentro do perímetro urbano da cidade de Cajazeiras/PB



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

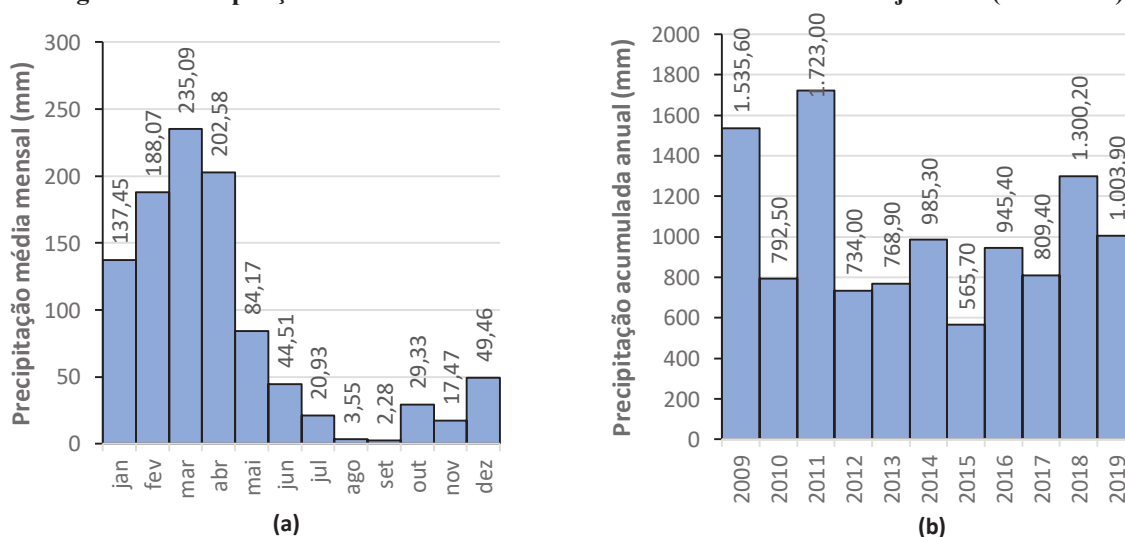
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E CLIMA

Cajazeiras está inserida na área que delimita a bacia hidrográfica do Rio do Peixe, uma sub-bacia do Rio Piranhas-Açu. Sousa (2013) aponta que o relevo da bacia do Rio do Peixe é caracterizado por uma superfície de aplainamento com altitude média em torno de 200 a 230 m, estando em um nível mais baixo que a área do embasamento cristalino, caracterizada como área coberta por intensa atividade sedimentar.

Os solos constituintes da bacia do Rio do Peixe são do tipo Neossolos (em maior quantidade), Argissolos, Vertissolos, Planossolos e Luvisolos. Estes solos são resultantes da desagregação e decomposição das rochas cristalinas do embasamento. Tais classificações são importantes para a caracterização das formações rochosas, localização de lençóis freáticos, suscetibilidade a erosão hídrica, aproveitamento para lavouras e etc. Assim, em seu domínio a cidade de Cajazeiras apresenta formação do tipo *Luvisolo Crômico Órtico*. Os Luvisolos apresentam grandes teores de argila, e, como a maioria das formações da bacia do Rio do Peixe, dificultam a drenagem, contribuindo para o aumento do escoamento superficial (SOUSA, 2013; CPRM, 2005).

Acerca do clima, Sousa (2013) comenta que a bacia do Rio do Peixe apresenta um clima do tipo semiárido quente mediano, com período de estiagem estimado entre 7 e 8 meses. No município de Cajazeiras, a distribuição anual da precipitação indica que o período de janeiro a abril são os meses mais chuvosos (acima da média) (Figura 8a), enquanto a precipitação média anual nos últimos dez anos é de 1014,90 mm/ano, sendo 2011 o ano mais chuvoso do período (Figura 8b).

Figura 8 - Precipitações média mensal e acumulada anual da cidade de Cajazeiras (2009-2019)



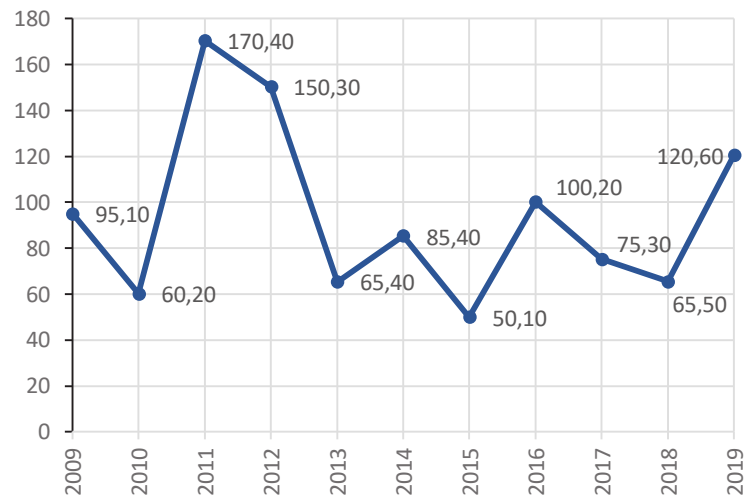
Fonte: Elaborado pelo autor com dados da AESA (2019)

3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO CN-SCS

3.3.1 Precipitação máxima

Para a determinação do escoamento superficial direto nos diferentes cenários de urbanização do bairro, analisaram-se as séries históricas de precipitação do posto pluviométrico de Cajazeiras, disponível no banco de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), no período 2009-2019. Foram tomados os máximos valores de evento de chuva em cada ano no período de estudo (Figura 9).

Figura 9 - Precipitação máxima anual (mm) em Cajazeiras (2009-2019)



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da AESA (2019)

De acordo com a pesquisa realizada por Brito *et. al.* (2017), as precipitações no município de Cajazeiras podem ser representadas através da curva intensidade-duração-frequência (IDF) dada pela Equação 10:

$$i = \frac{859,01 \cdot T^{0,264}}{(t + 11,0)^{0,7508}} \quad (10)$$

Onde,

T é o tempo de retorno (anos);

t é a duração da precipitação (min);

i é a intensidade da precipitação (mm/h).

3.3.2 Mapeamento do solo e determinação dos parâmetros CN





Para caracterizar os diferentes tipos de uso e ocupação do solo do Bairro Jardim Oásis nos últimos dez anos, a fim de acompanhar a evolução dos cenários de sua urbanização e poder aplicá-la ao método CN-SCS, foram extraídas imagens de satélite do *software Google Earth Pro* dos anos de 2009, 2013, 2016 e 2019. As imagens foram selecionadas para intervalos de tempo igualmente espaçados, de acordo com sua disponibilidade na base de dados do programa (ANEXO A).

A delimitação e classificação das áreas foi realizada manualmente por meio da vetorização das áreas que correspondem a cada categoria utilizada na Tabela 3, pois como as imagens utilizadas foram do *Google Earth Pro*, que só possui uma banda com resposta espectral no espectro visível (entre 750 nm e 400 nm), não foi possível fazer uma classificação supervisionada em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Outro fator dificultante nesse processo são as categorias existentes na classificação do solo para determinação do CN, pois em alguns casos não é possível definir uma amostra nas imagens de satélite que atenda tais parâmetros de forma precisa.

O Quadro 1 mostra as imagens de satélites extraídas para o período de estudo. Inicialmente, é possível perceber que há uma clara dispersão das composições espectrais de cada uma, causada principalmente pelas diferenças entre os satélites (2009, 2016 e 2019 apresentam tons mais quentes, enquanto 2013 apresenta tons mais frios). Vale ressaltar que no processo de seleção foram priorizadas as imagens que pertencem ao mesmo período climático, já que a utilização de imagens de períodos diferentes resultaria em uma dispersão maior da quantidade de áreas verdes dos espaços abertos, isto é, a imagem de um período mais chuvoso seria tendenciosa para espaços abertos em condições boas, pois após um período de chuva a vegetação rasteira volta a crescer.

Assim, conforme disponibilidade, foram escolhidas as imagens do período mais seco do ano, meses de agosto a novembro, como observado na Figura 8. Cada imagem foi extraída em qualidade máxima de resolução (4800 x 2843 *pixels*), compreendendo uma área total de 1648,75 x 976,54 m, e de uma altitude do ponto de visão em 1,4 km.

Quadro 1 - Imagens de satélite do Bairro Jardim Oásis nos anos de estudo

2009	2013
	
Data de referência: 14/11/2009 Satélite: Maxar Technologies	Data de referência: 07/08/2009 Satélite: CNES / Airbus
2016	2019
	
Data de referência: 03/08/2016 Satélite: Maxar Technologies	Data de referência: 29/10/2019 Satélite: Maxar Technologies

Fonte: Elaborado pelo autor

A classificação das áreas nos mapeamentos foi feita com base na Tabela 3; enquanto as classes utilizadas são descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Classes de solo utilizadas para mapeamentos de uso e ocupação do solo do Bairro Jardim Oásis

ITEM	DESCRIÇÃO
1	Espaço aberto: condição ruim (cobertura com grama < 50% da área)
2	Espaço aberto: condição média (cobertura com grama 50-75% da área)
3	Espaço aberto: condição boa (cobertura com grama > 75% da área)
4	Estacionamentos pavimentados e pistas de rolamento
5	Ruas e estradas: com paralelepípedos
6	Ruas e estradas: de terra
7	Áreas comerciais e empresariais
8	Áreas residenciais (65% de área impermeável)
9	Superfície aquática

Fonte: Adaptado de Alves (2016) e NRCS (1986)

Os valores de CN foram determinados de acordo com cada classificação do solo apresentado na Tabela 3. Para o solo da cidade de Cajazeiras (Luvisolo crômico), Sartori *et. al.*

(2005) comenta que estes tipos de solo se encontram no grupo D da classificação hidrológica, caracterizados pela baixa taxa de infiltração e alto teor de argila.

A partir dos valores das áreas das classificações do solo do Bairro Jardim Oásis obtidos pelos mapeamentos de uso e ocupação do solo, foram associados seus respectivos valores de CN. Assim foram calculados os valores de CN médio para o bairro, considerando a Equação 9, e os valores de S e P_e , considerando as Equações 6 e 5, respectivamente.

O valor de CN médio foi calculado utilizando-se o valor de porcentagem da área de cada classe dos mapeamentos de uso e ocupação do solo. Foram calculados os produtos $CN_i A_i$ utilizados na Equação 9 e o somatório destes produtos e dispostos em tabela.

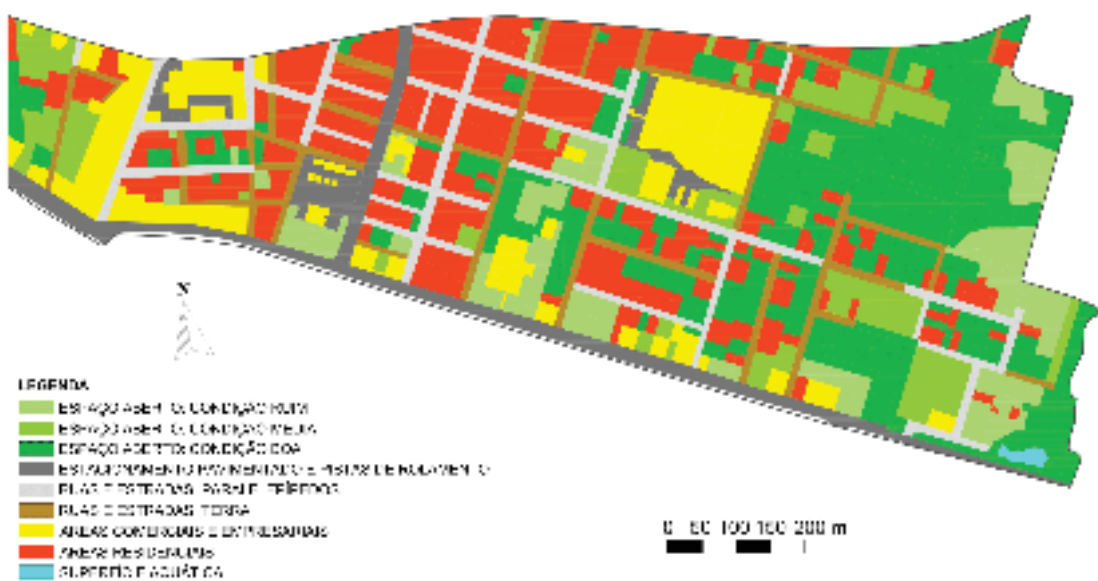
Todos os valores de CN médio, S e P_e foram estimados para as três condições de umidade antecedentes (CUAs), conforme sua determinação pelas respectivas equações.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 MAPEAMENTOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO

As Figuras 10, 11, 12 e 13 mostram os mapeamentos de uso e ocupação do solo do Bairro Jardim Oásis nos respectivos anos de estudo. Com os mapas é possível acompanhar o crescimento das áreas impermeáveis (itens 4, 5, 7 e 8 da Tabela 4) e a consequente diminuição das áreas permeáveis (itens 1, 2, 3 e 6).

Figura 10 - Uso e Ocupação do Solo do Bairro Jardim Oásis (2009)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 11 - Uso e Ocupação do Solo do Bairro Jardim Oásis (2013)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 12 - Uso e Ocupação do Solo do Bairro Jardim Oásis (2016)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 13 - Uso e Ocupação do Solo do Bairro Jardim Oásis (2019)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Conforme é observado o uso do solo do Bairro Jardim Oásis permaneceu o mesmo nos últimos dez anos, não havendo necessidade de alteração das classes de solo elencadas na Tabela 4 durante os anos selecionados. As mudanças mais visíveis estão no sentido leste do bairro, onde se observa o claro crescimento da urbanização, como o aumento de áreas residenciais, a pavimentação de estradas de terra em ruas com paralelepípedos e a diminuição da cobertura vegetal para criação de novas estradas de terra para acesso as edificações.

Outras alterações que se destacam são: a variação nas áreas das classes de espaços abertos, havendo acréscimos e decréscimos durante os anos devido às condições climáticas de

cada ano; um pequeno decréscimo na área de estacionamentos em 2019 devido ao aumento de área comercial (as pistas de rolamento embora estejam na mesma categoria dos estacionamentos não cresceram de 2013 para 2019). A Tabela 5 mostra os quantitativos de áreas de cada classe e a porcentagem em relação ao total.

Tabela 5 - Quantitativos de áreas das classes dos mapas de uso e ocupação do solo

ANO	ITEM	USO DO SOLO	ÁREA (m²)	%*
2009	1	Espaço aberto: condição ruim	61.843,45	9,25
	2	Espaço aberto: condição média	56.951,57	8,52
	3	Espaço aberto: condição boa	176.375,03	26,38
	4	Estacionamento pavimentado e pistas de rolamento	48.754,85	7,29
	5	Ruas e estradas: com paralelepípedos	51.734,82	7,74
	6	Ruas e estradas: de terra	46.974,34	7,03
	7	Áreas comerciais e empresariais	75.081,24	11,23
	8	Áreas residenciais (65% impermeável)	149.377,69	22,34
	9	Superfície aquática	1.447,03	0,22
Total			668.540,00	100,00
2013	1	Espaço aberto: condição ruim	19.194,21	2,87
	2	Espaço aberto: condição média	21.096,90	3,16
	3	Espaço aberto: condição boa	231.544,13	34,63
	4	Estacionamento pavimentado e pistas de rolamento	51.349,57	7,68
	5	Ruas e estradas: com paralelepípedos	62.968,99	9,42
	6	Ruas e estradas: de terra	35.905,15	5,37
	7	Áreas comerciais e empresariais	80.716,64	12,07
	8	Áreas residenciais (65% impermeável)	164.317,37	24,58
	9	Superfície aquática	1.447,03	0,22
Total			668.540,00	100,00
2016	1	Espaço aberto: condição ruim	78.966,35	11,81
	2	Espaço aberto: condição média	83.068,31	12,43
	3	Espaço aberto: condição boa	92.830,07	13,89
	4	Estacionamento pavimentado e pistas de rolamento	52.513,69	7,85
	5	Ruas e estradas: com paralelepípedos	72.122,36	10,79
	6	Ruas e estradas: de terra	29.653,56	4,44
	7	Áreas comerciais e empresariais	81.584,00	12,20
	8	Áreas residenciais (65% impermeável)	176.354,63	26,38
	9	Superfície aquática	1.447,03	0,22
Total			668.540,00	100,00
2019	1	Espaço aberto: condição ruim	59.731,80	8,93
	2	Espaço aberto: condição média	71.829,18	10,74
	3	Espaço aberto: condição boa	108.757,20	16,27
	4	Estacionamento pavimentado e pistas de rolamento	52.408,47	7,84
	5	Ruas e estradas: com paralelepípedos	72.302,75	10,82
	6	Ruas e estradas: de terra	32.807,74	4,91
	7	Áreas comerciais e empresariais	84.533,99	12,64
	8	Áreas residenciais (65% impermeável)	184.721,83	27,63
	9	Superfície aquática	1.447,03	0,22
Total			668.540,00	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor

***Verde** – crescimento em relação ao ano anterior; **vermelho** – decréscimo em relação ao ano anterior; **preto** – valor inalterado.

4.2 DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO

Foi utilizado o valor de lâmina estimado através da Equação 10 para o valor de precipitação total P na aplicação no Método CN-SCS. Para tanto, calculou-se a precipitação máxima em um dia ($t = 1440$ min), durante o período de estudo ($T = 10$ anos). A equação da curva IDF, para a cidade de Cajazeiras, resultou em $i = 6,67$ mm/h, o que representa uma lâmina total de 160,11 mm em um dia.

A Tabela 6 mostra os valores de CN para cada classe de solo dos mapeamentos de uso e ocupação do solo, como também os produtos $CN_i A_i$ dados pela multiplicação do valor de CN pela porcentagem da respectiva área para o cálculo do CN médio.

Tabela 6 - Valores de CN para o grupo D e produtos $CN_i A_i$ para estimativa do CN médio (continua)

ANO	ITEM	USO DO SOLO	ÁREA (m ²)	%	CN	PRODUTO
2009	1	Espaço aberto: condição ruim	61.843,45	9,25	89	823,30
	2	Espaço aberto: condição média	56.951,57	8,52	84	715,58
	3	Espaço aberto: condição boa	176.375,03	26,38	80	2.110,57
	4	Estacionamento pavimentado e pistas de rolamento	48.754,85	7,29	98	714,69
	5	Ruas e estradas: com paralelepípedos	51.734,82	7,74	91	704,20
	6	Ruas e estradas: de terra	46.974,34	7,03	89	625,35
	7	Áreas comerciais e empresariais	75.081,24	11,23	95	1.066,91
	8	Áreas residenciais (65% impermeável)	149.377,69	22,34	92	2.055,64
	9	Superfície aquática	1.447,03	0,22	100	21,64
Total			668.540,00	100,00		8.837,87
2013	1	Espaço aberto: condição ruim	19.194,21	2,87	89	255,52
	2	Espaço aberto: condição média	21.096,90	3,16	84	265,08
	3	Espaço aberto: condição boa	231.544,13	34,63	80	2.770,74
	4	Estacionamento pavimentado e pistas de rolamento	51.349,57	7,68	98	752,72
	5	Ruas e estradas: com paralelepípedos	62.968,99	9,42	91	857,12
	6	Ruas e estradas: de terra	35.905,15	5,37	89	477,99
	7	Áreas comerciais e empresariais	80.716,64	12,07	95	1.146,99
	8	Áreas residenciais (65% impermeável)	164.317,37	24,58	92	2.261,23
	9	Superfície aquática	1.447,03	0,22	100	21,64
Total			668.540,00	100,00		8.809,04
2016	1	Espaço aberto: condição ruim	78.966,35	11,81	89	1.051,25
	2	Espaço aberto: condição média	83.068,31	12,43	84	1.043,73
	3	Espaço aberto: condição boa	92.830,07	13,89	80	1.110,84
	4	Estacionamento pavimentado e pistas de rolamento	52.513,69	7,85	98	769,79
	5	Ruas e estradas: com paralelepípedos	72.122,36	10,79	91	981,71
	6	Ruas e estradas: de terra	29.653,56	4,44	89	394,77
	7	Áreas comerciais e empresariais	81.584,00	12,20	95	1.159,31
	8	Áreas residenciais (65% impermeável)	176.354,63	26,38	92	2.426,87
	9	Superfície aquática	1.447,03	0,22	100	21,64
Total			668.540,00	100,00		8.959,91

2019	1	Espaço aberto: condição ruim	59.731,80	8,93	89	795,19
	2	Espaço aberto: condição média	71.829,18	10,74	84	902,51
	3	Espaço aberto: condição boa	108.757,20	16,27	80	1.301,43
	4	Estacionamento pavimentado e pistas de rolamento	52.408,47	7,84	98	768,25
	5	Ruas e estradas: com paralelepípedos	72.302,75	10,82	91	984,17
	6	Ruas e estradas: de terra	32.807,74	4,91	89	436,76
	7	Áreas comerciais e empresariais	84.533,99	12,64	95	1.201,23
	8	Áreas residenciais (65% impermeável)	184.721,83	27,63	92	2.542,02
	9	Superfície aquática	1.447,03	0,22	100	21,64
Total			668.540,00	100,00		8.953,19

Fonte: Elaborado pelo autor

(conclusão)

Com estes valores e, tomando as Equações 9, 6 e 5, respectivamente, calculou-se o CN médio, a retenção potencial máxima S e o escoamento superficial direto P_e para as três condições de umidade antecedentes. Conforme citado anteriormente, no cálculo de P_e foi considerado uma precipitação total com valor de 160,11 mm.

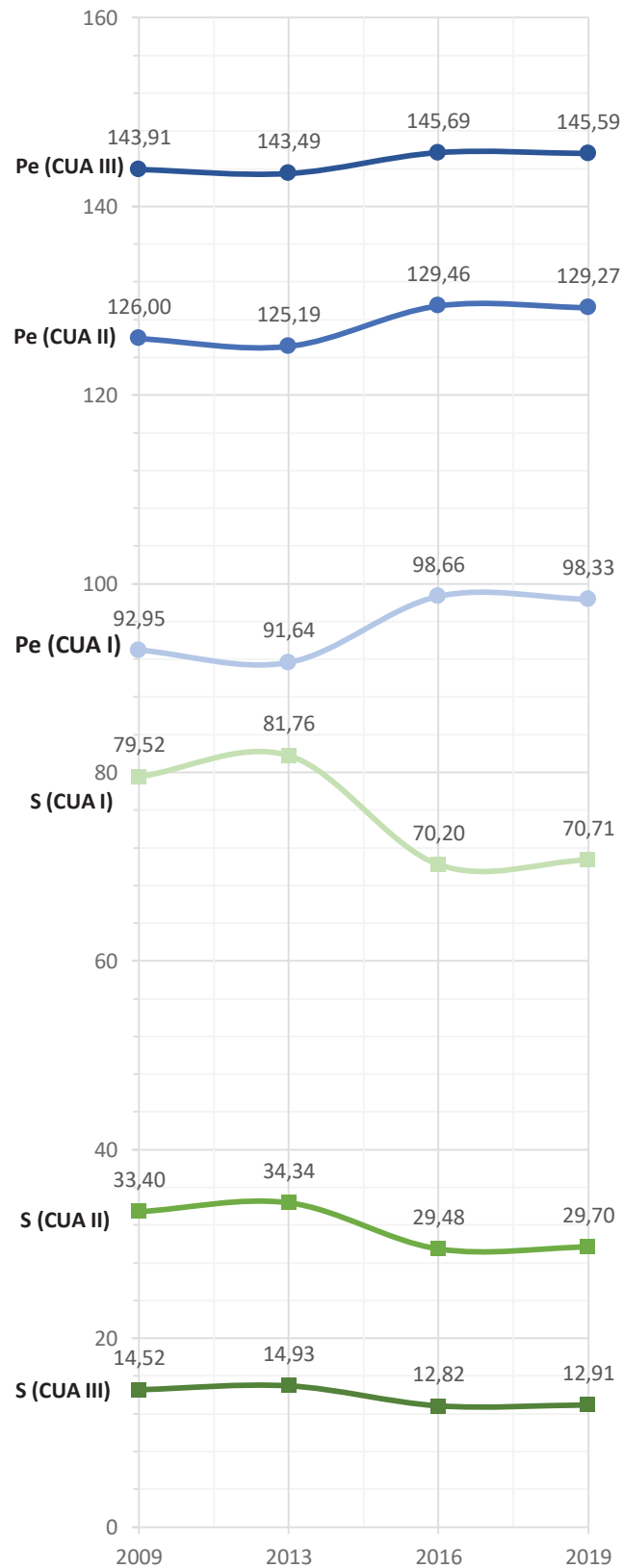
Tabela 7 - Valores de CN médio, S e P_e para as CUAs

ANO	CUA II (Condições Normais)	CUA I (Condições Secas)	CUA III (Condições Úmidas)
2009	CN (II)	CN (I)	CN (III)
	88,38	76,16	94,59
	S (mm)	S (mm)	S (mm)
	33,40	79,52	14,52
	Pe (mm)	Pe (mm)	Pe (mm)
	126,00	92,95	143,91
2013	CN (II)	CN (I)	CN (III)
	88,09	75,65	94,45
	S (mm)	S (mm)	S (mm)
	34,34	81,76	14,93
	Pe (mm)	Pe (mm)	Pe (mm)
	125,19	91,64	143,49
2016	CN (II)	CN (I)	CN (III)
	89,60	78,35	95,20
	S (mm)	S (mm)	S (mm)
	29,48	70,20	12,82
	Pe (mm)	Pe (mm)	Pe (mm)
	129,46	98,66	145,69
2019	CN (II)	CN (I)	CN (III)
	89,53	78,22	95,16
	S (mm)	S (mm)	S (mm)
	29,70	70,71	12,91
	Pe (mm)	Pe (mm)	Pe (mm)
	129,27	98,33	145,59

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 14 foram plotadas as seis curvas referentes aos valores de S e P_e obtidos para as três condições de umidade antecedentes (CUAs) em cada ano do estudo.

Figura 14 - Variações do valor de P_e (mm) e S (mm) nas CUAs



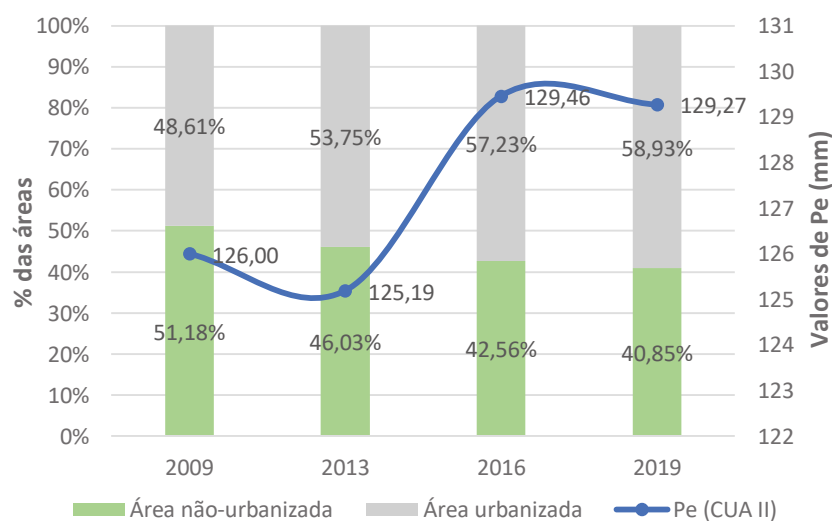
Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

É possível notar que as curvas de P_e e de S da Figura 14 apresentam uma sinuosidade que não é esperada, pois, com o passar dos anos, espera-se que, conforme haja um aumento gradativo da urbanização da área do bairro, maior seja o seu escoamento superficial, configurando numa curva ascendente. A retenção potencial máxima S , ao contrário de P_e , resultaria numa curva descendente. Entretanto, a metodologia proposta pelo SCS para estimação P_e aponta que seu valor depende de fatores empíricos, como as perdas iniciais I_a , citadas no início deste trabalho. Ressalta-se que o método foi desenvolvido para bacias experimentais com solos característicos dos EUA, portanto, os valores de CN apresentados na Tabela 3, não são precisos para todas as classificações de solos encontradas neste trabalho.

Ainda acerca das curvas obtidas na Figura 14, pode-se observar também uma clara relação entre P_e e S : as curvas são quase que opostas para suas respectivas CUAs. Isto já é esperado, já que se há uma maior retenção de água no solo (S), menor é o escoamento superficial direto gerado (P_e). Também é perceptível que na CUA I, as curvas têm uma sinuosidade mais acentuada que as curvas de CUA II, e estas mais que as curvas de CUA III. Este comportamento é explicado a partir da própria definição de cada CUA, uma vez que na CUA I o solo está mais seco, na CUA II o solo está na umidade ideal e na CUA III o solo está saturado de umidade.

No entanto, os mapeamentos de uso e ocupação do solo mostram que houve um decréscimo da área total não-urbanizada (espaços abertos e ruas de terra) com consequente crescimento das áreas urbanizadas (áreas residenciais, comerciais, ruas com paralelepípedos, estacionamentos e pistas de rolamento) como mostrado na Figura 15.

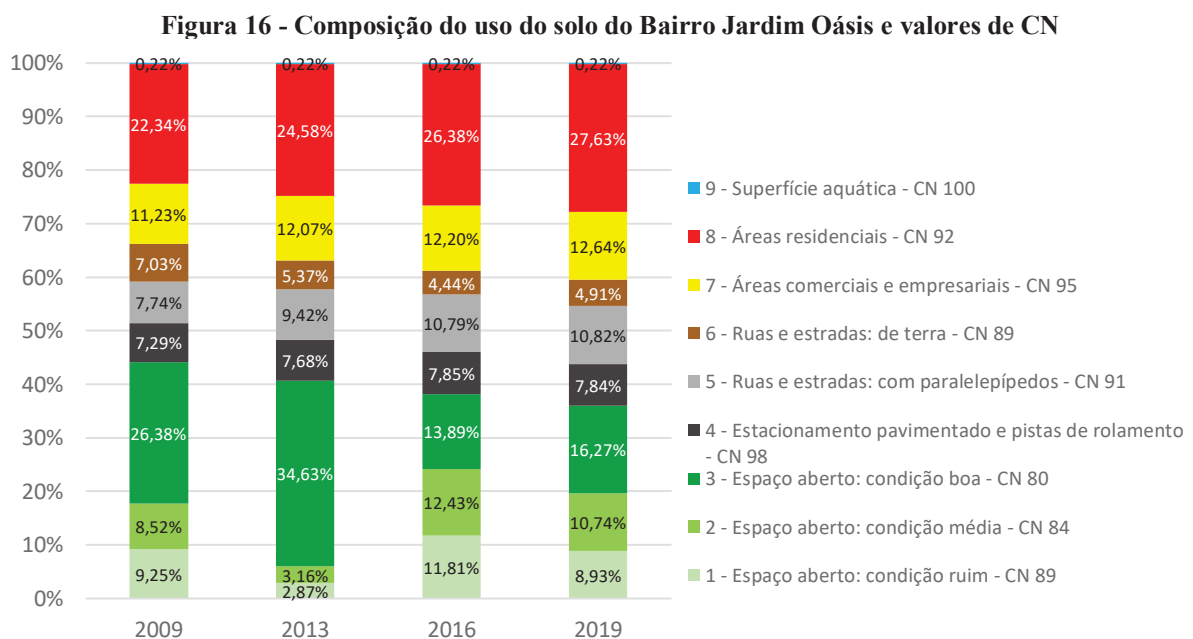
Figura 15 - Relação entre os valores de P_e (mm) obtidos na CUA II com as áreas urbanizadas e não-urbanizadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Um detalhamento maior das áreas que compõe o espaço do Bairro Jardim Oásis (Figura 16), mostra que os espaços abertos (itens 1, 2 e 3) apresentaram variações não gradativas em sua porcentagem de distribuição pela área total. Tal característica é relevante para a considerações de estimacão do escoamento superficial direto deste estudo, por três motivos:

- As imagens extraídas para o processo de mapeamento de uso e ocupação do solo embora pertençam ao mesmo período climático (estação seca) apresentam condições de vegetação diferentes que são decorridas da incidência de precipitações em cada ano;
- A qualidade das imagens pode induzir no momento de categorização dos espaços abertos;
- Os terrenos baldios tendem a confundir a categorização das imagens, uma vez que o crescimento da vegetação nestas áreas é condicionado às suas condições de abandono.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

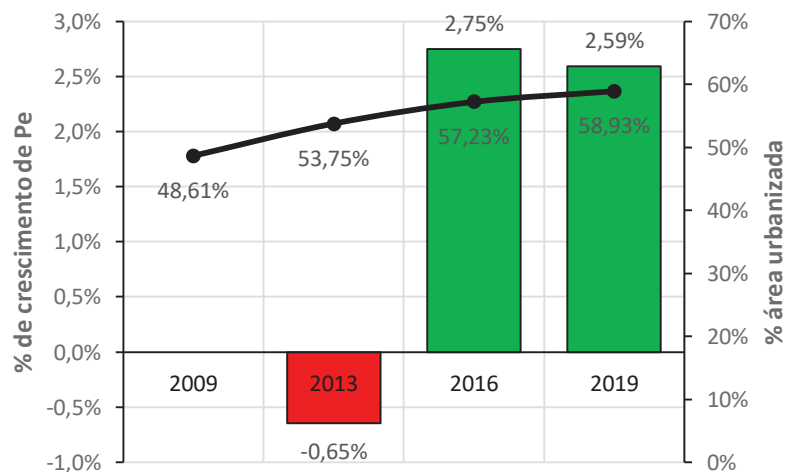
Os demais valores apresentados na Figura 16 apresentam o crescimento gradativo esperado (áreas urbanizadas - itens 4, 5, 7 e 8), com alguns poucos desvios acarretados pela classificação manual. O item 6 (ruas de terra) apresenta o decréscimo esperado no período 2009-2016, entretanto, de 2016 a 2019 percebe-se um aumento. Este fato foi observado durante a classificação manual na direção leste da área do bairro onde há mais espaços abertos. Isto se reflete no sentido de urbanização do bairro, já que estes espaços estão

deixando de possuir vegetação nativa para dar espaço às edificações e ruas de terra. O item 9 (superfície aquática) não apresentou variação (0,22%), visto que esta área permanece a mesma em todos os anos.

A Figura 17 mostra as taxas de crescimento de P_e em relação ao ano inicial (2009) e sua relação com o aumento da urbanização do Bairro Jardim Oásis. Para o ano de 2013, embora tenha havido um crescimento na área urbanizada, houve um decréscimo (-0,65%) do escoamento superficial direto, consequente da redução das áreas dos espaços abertos em condição ruim e média, que possuem um CN maior que a condição boa (Figura 16). Esta redução acaba por diminuir o valor do produto $CN_i A_i$ desta classe, que por sua vez diminui o valor de CN médio para este ano. Conforme foi observado na Tabela 7 este valor foi menor que o do ano 2009.

Entretanto, em 2016 e em 2019 a taxa de crescimento se configurou positiva em 2,75% e 2,59%, respectivamente. A queda da taxa para o ano de 2019 em relação ao ano de 2016 se deu pelas mesmas condições apontadas para o ano de 2013, havendo uma redução das áreas dos espaços abertos em condição ruim e média (em 2016 estas áreas compuseram a maior parte dos espaços abertos).

Figura 17 - Crescimento de P_e (mm) em relação ao ano de 2009 e aumento das áreas urbanizadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

5 CONCLUSÃO

A partir dos valores das porcentagens de crescimento do escoamento superficial direto dos últimos três anos do estudo em relação ao ano inicial, é possível concluir que o Método CN-SCS é muito sensível às classificações de solo da área, ao grupo hidrológico ao qual pertence e às suas condições de umidade antecedentes, já que estes fatores influenciam diretamente nos valores de CN de cada classe.

Também ficou perceptível que os mapeamentos de uso e ocupação do solo são decisivos para a estimação do escoamento superficial direto, uma vez que apresentaram os quantitativos de áreas urbanizadas e não-urbanizadas. Nas áreas não-urbanizadas, os valores de áreas de espaços abertos nas três condições (ruim, média e boa) apresentaram uma dispersão no período, com acréscimos e decréscimos. Mesmo assim a porcentagem total dos espaços abertos diminuiu com ao longo do período, indicando que os acréscimos e decréscimos são variantes da classificação manual e da imagem de satélite extraída.

Entretanto, analisando-se os produtos de CN com a porcentagem de área na tabela, os espaços abertos em condições ruim e média, que possuem um CN menor que as demais classes, tiveram áreas menores nos anos de 2013 e 2019, onde se registraram as quedas do escoamento superficial. Disto, toma-se que para o Bairro Jardim Oásis, quanto menos cobertura vegetal, menor será o escoamento superficial direto, em virtude do aumento da retenção potencial máxima.

As áreas urbanizadas, ao contrário das não-urbanizadas, apresentaram um crescimento gradativo no período de estudo, passando a compor mais da metade da área total do bairro, a partir do ano de 2013. Foi observado que devido aos seus maiores valores de CN, estas áreas foram decisivas para o aumento do escoamento superficial direto no bairro.

A variação na composição de áreas do Bairro Jardim Oásis ainda se reflete nos valores do CN médio calculado através de uma equação que multiplica o CN de cada classe e a área total da referida classe, assim aumentando ou diminuindo estes produtos. Tais produtos são diretamente proporcionais ao CN médio, que por sua vez é diretamente proporcional ao valor do escoamento superficial direto. Além disso, os valores de CN médio se mostraram menores para a CUA I onde o solo está mais seco, e maiores para CUA III, onde o solo está saturado.

As curvas de retenção potencial máxima e escoamento superficial direto mostraram que os dois fatores são opostos. Este comportamento segue como apontado na equação geral do Método CN-SCS.

Outros fatores importantes para o método que foram abordados neste trabalho são a precipitação máxima e o grupo hidrológico do solo. Tais fatores são de extrema importância para caracterização do escoamento superficial em bacias hidrográficas, uma vez que são parâmetros relacionados ao local de estudo. A descrição detalhada de cada um permitiu compreender melhor a realidade climatológica e geomorfológica na qual a cidade de Cajazeiras está inserida.

Através destes e em conjunto com a metodologia apontada pelo SCS para estimação do escoamento superficial, é que se podem fazer levantamentos mais precisos para dimensionamentos adequados de sistemas de micro e macrodrenagem em toda área urbana da cidade de Cajazeiras.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho se concentrou em estimar o escoamento superficial direto através do Método CN-SCS. Entretanto, conforme aponta Lima (2014), este método é recomendado para áreas de contribuição maiores que $8,0 \text{ km}^2$. Para bacias menores que $0,8 \text{ km}^2$ pode se utilizar do Método Racional. Portanto, para complementação deste estudo pode se fazer uma análise comparativa entre as duas metodologias.

Outra consideração bastante apontada neste trabalho foi relacionada às imagens de satélite obtidas e a produção dos mapeamentos de uso e ocupação do solo que foram feitos de maneira manual. A extração de imagens de satélites de bases mais completas que a do *Google Earth Pro*, com composição de bandas espectrais que apresentem bandas com maiores variações espectrais, alinhados aos SIGs, podem ser mais úteis para identificar e quantificar as áreas e classes de estudo com mais precisão.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DE ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESAs). **Dados da Estação de Cajazeiras**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- ALVES, G. J. **Aplicabilidade do método CN-SCS a uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos no Sul de MG**. 2016. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- BASTOS, G. A. P. **Análise dos parâmetros do modelo SWMM para avaliação do escoamento em duas bacias periurbanas em Santa Maria-RS**. 2007. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.
- BRITO, C. S. *et. al.* Caracterização dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Cajazeiras-PB. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 2., 2017, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Editora Realize, 2017. p.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 384 p.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 115 p. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>. Acesso em: 22 jan. 2020.
- COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do censo demográfico**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. 2019. Acesso em: 22 jan. 2020.
- LIMA, N. A. **Comparação entre métodos de dimensionamento de sistemas de drenagem em aeródromos**. 2014. 143 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.
- MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. 1. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.
- MELO, T. A. T. *et. al.* Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, out./dez. 2014.

MUÑOZ-ROBLES, C. *et. al.* Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semiarid Australia. **Geoderma**, v. 160, p. 524–534, 2011.

NASCIMENTO, R. J. A. **Erodibilidade em entressulcos, escoamento superficial e formação de crosta em solos representativos do Estado da Paraíba.** 2012. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Departamentos de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2012.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). **Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55.** United States Department of Agriculture (USDA), 1986. 164 p. Disponível em: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf. Acesso em: 22 jan. 2020.

OLIVEIRA, L. B. *et al.* Morfologia e classificação de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 33, n. 5, p.1333-1345, out. 2009.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada.** Caxias do Sul: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2004. 69 f. Disponível em: http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf. Acesso em: 22 jan. 2020.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff curve number: Has it reached maturity? **Journal of hydrologic engineering**, v. 1, n. 1, p. 11-19, 1996.

PORTELA, M. M. **Modelação Hidrológica.** Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2006.

PORTO, R. L. **Escoamento Superficial Direto.** In: Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS / ABRH, p. 127, 1995.

PORTO, R. L. *et. al.* **Escoamento Superficial.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1999. 47 p. Disponível em: <http://www.pha.poli.usp.br>. Acesso em: 19 jan. 2020.

SANTOS, C. A. G. **Hidrologia Aplicada.** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2019.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.** 2004. 189 p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

SARTORI, A. *et. al.* Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p.05-18, 2005.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Cajazeiras, estado da Paraíba.** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

SOUSA, A. R. **Análise das inundações a partir de atributos hidro-climatológicos e ambientais na bacia hidrográfica do Rio do Peixe – PB.** 2013. 160 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais.** São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** / ABRH, v. 7, n. 1, p.5-27, Porto Alegre, 2002.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M.T. **Drenagem urbana.** 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade ABRH, 1995.

TYAGI, J. V.; MISHRA, S. K.; SINGH, R.; SINGH, V. P. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. **Journal of Hydrology**, v. 352, p. 388–403, 2008.

ANEXO A – IMAGENS DE SATÉLITE

Figura 18 - Bairro Jardim Oásis (2009)



Figura 19 - Bairro Jardim Oásis (2013)



Figura 20 - Bairro Jardim Oásis (2016)



Figura 21 - Bairro Jardim Oásis (2019)

