

JORGE BERNARDO ARAÚJO FERRAZ SANTOS

ESTIMATIVAS DA CURVA NÚMERO PARA MODELAGEM DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL EM ÁREAS DE CAATINGA E PASTAGEM DEGRADADA

Serra Talhada-PE

2018

S
A
N
T
O
S

J
B
A
F

E
S
T
I
M
A
T
I
V
A
S

D
A

C
U
R
V
A

N
Ú

2
0
1
8

JORGE BERNARDO ARAÚJO FERRAZ SANTOS

ESTIMATIVAS DA CURVA NÚMERO PARA MODELAGEM DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL EM ÁREAS DE CAATINGA E PASTAGEM DEGRADADA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

Co-orientador: Dr. Rodolfo Souza

Serra Talhada-PE

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada-PE, Brasil

S237e Santos, Jorge Bernardo Araújo Ferraz
Estimativas da curva número para modelagem do escoamento superficial em áreas de Caatinga e pastagem degradada / Jorge Bernardo Araújo Ferraz Santos. - Serra Talhada, 2018.
65f. : il.

Orientador : Eduardo Soares de Souza
Coorientador: Rodolfo Marcondes Silva Souza

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2018.

Inclui referências.

1. Balanço de água no solo. 2. Chuva. 3. Infiltração. 4. Taxa de abstração inicial. 5. Semiárido. I. Souza, Eduardo Soares de, orient. II. Souza, Rodolfo Marcondes Silva, coorient. III. Título.

CDD 631

JORGE BERNARDO ARAÚJO FERRAZ SANTOS

ESTIMATIVAS DA CURVA NÚMERO PARA MODELAGEM DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL EM ÁREAS DE CAATINGA E PASTAGEM DEGRADADA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em ____/____/____.

Banca Examinadora

Dr. Eduardo Soares de Souza UAST/UFRPE
(Orientador)

Dr. Marcus Metri Corrêa-DTR/UFRPE
(Examinador Externo)

Dr. José Romualdo de Sousa Lima- UAG/UFRPE
(Examinador Externo)

Aos meus pais Anselmo Gomes dos Santos e Lucyneide Araújo Ferraz, que não mediram esforços para que eu seguisse minha carreira acadêmica.

Aos meus irmãos Érico Leonardo e Érica Lariane pelas palavras de apoio e carinho.

A minha amada esposa Poliana Alves, por todo amor e companheirismo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, agradeço por me dar ombros fortes para a realização desta pesquisa e pelos acontecimentos maravilhosos que ocorrem em minha vida.

Ao professor e orientador, Dr. Eduardo Soares de Souza, pela orientação e toda a ajuda para a realização deste trabalho e elaboração na redação da dissertação.

Ao meu co-orientador Dr. Rodolfo Souza, pelas palavras de força, e ajuda na elaboração da dissertação.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Eduardo Silva, Erison Martins, João Cláudio Torres e Leandro Mira, pela ajuda nas coletas de dados, ao amigo José Raliuson Inácio da Silva, que além de ajudar nos trabalhos de campo, sempre se disponibilizou quando solicitado.

Aos meus cunhados Lara Maniçoba e Arnaldo Júnior, pela preocupação, força e carinho.

A minha sogra Inês Alves, minha cunhada Luciana Alves e esposo Rone Novais, que sempre torceram por mim.

A toda minha família, que incondicionalmente me apoiam, sobretudo, por acreditarem em mim.

Aos meus colegas mestrandos, Denizard Oresca, Alysson Sobreira, Orlando Xavier, Edvan Amaro, Neto, Carlos André, Lypson, Laamon, Alexandre Ferraz, Arnaldo Nogueira, Renilson Pessoa, Thialla Laranjeira Amorim, Samara Lopes, pelos bons momentos que me proporcionaram, pelos conselhos e boas conversas, pela amizade, carinho e apoio nos momentos difíceis, e a todos meus colegas mestrandos que não foram citados aqui, mas que estão em meu coração!

Aos professores e amigos Genival Barros Júnior, Luiz Guilherme Pessoa, Maurício Leite, por todo o apoio, ensinamentos e preocupação comigo.

Ao professor Adriano Simões, pelo apoio e ensinamento científico. Muito grato!

Aos professores do programa de pós-graduação em produção vegetal, pelos conhecimentos passados, dentro e fora da sala de aula.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/UAST, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio financeiro.

Aos funcionários, do quadro e terceirizados que compõem a unidade acadêmica de Serra Talhada, por sempre estarem solícitos em me ajudar nas horas que precisei.

Minha eterna gratidão!

“A persistência é o menor caminho do êxito”.
(Charles Chaplin)

RESUMO

Os diferentes estágios sucessionais da caatinga e a completa substituição dessa vegetação nativa por pastagens refletem diretamente nos componentes do balanço hídrico da região semiárida brasileira, sobretudo no escoamento superficial. O monitoramento desse componente é fundamental para compreender a hidrologia de qualquer região, porém, no semiárido, o seu registro é limitado devido aos poucos eventos de chuva geradores de escoamento, sendo muitas vezes necessário a utilização de modelos empíricos para a avaliação do fenômeno. Um dos métodos mais utilizados para essa estimativa é o da Curva Número do Serviço de Conservação de Recursos Naturais dos Estados Unidos (CN-NRCS-USDA), que tem como base dados de chuva e informações de uso do solo. Devido as variações nos regimes de chuvas (P) e nas características de uso do solo é necessário avaliar o desempenho da CN para estimar o escoamento (Q) em regiões diferentes das quais esse modelo foi desenvolvido. Diante disso, objetivou-se foi avaliar o escoamento superficial a partir do método da Curva Número (CN-NRCS) em quatro áreas com diferentes condições de uso do solo no semiárido pernambucano: sendo três áreas de caatinga sob diferentes estágios sucessionais e uma área de pastagem degradada. Os dados diários de P e de medidas pontuais de Q foram utilizados para estimar os valores da CN em cada área a partir dos procedimentos estatísticos: média aritmética, mediana, média geométrica, ajuste assintótico e ajuste não-linear. Além disso, foram utilizados os valores de CN tabelados (NRCS-USDA) como referência. O escoamento superficial modelado com a média, a mediana e a média geométrica dos valores de CN foram superestimados em todas as áreas. Apesar do procedimento assintótico proporcionar um bom ajuste, os valores de CN obtidos com este método também não apresentaram desempenho satisfatórios para a estimativa de Q, inviabilizando a sua aplicação nas áreas estudadas. Os melhores desempenhos do método não-linear foram obtidos quando ambos, a retenção máxima potencial (S) e a razão da abstração inicial (λ), foram ajustados para cada área onde a CN foi aplicada. Os CN obtidos por ajuste não-linear nas três áreas de caatinga sucessionais (arbórea, com predominância de angico e com predominância de herbáceas e arbustos), foram os que mais se aproximaram das CNs de referência com valores de 66, 65 e 63, respectivamente, estimando satisfatoriamente o escoamento superficial.

Palavras-chave: Balanço de água no solo; Chuva; Infiltração; Taxa de abstração inicial; Semiárido

ABSTRACT

The different successional stages of the caatinga and the complete replacement of this native vegetation by pastures reflect directly on the components of the water balance of the Brazilian semiarid region, especially on the surface runoff. The monitoring of this component is fundamental to understand the hydrology of any region, but in the semi-arid region, its record is limited due to the few rain events generating runoff, and it is often necessary to use empirical models to evaluate the phenomenon. One of the most used methods for this estimation Curve Number from the Natural Resources Conservation Service of the United States (CN-NRCS-USDA), which is based on rainfall data and land use information. Due to variations in rainfall regimes (P) and land use characteristics, it is necessary to evaluate the performance of the CN to estimate the flow (Q) in different regions from which this model was developed. The objective of this study was to evaluate the runoff from the Curve Number method (CN-NRCS) in four areas with different soil use conditions in the semi-arid region of Pernambuco: three caatinga areas under different successional stages and one degraded pasture. The daily data of P and local measurements of Q were used to estimate the CN values in each area from the statistical procedures: arithmetic means, median, geometric mean, asymptotic adjustment and nonlinear adjustment. Besides, the tabulated CN values (NRCS-USDA) were used as a reference. The runoff modeled with the mean, median and geometric mean of CN values were overestimated in all areas. Although the asymptotic procedure provided a good fit, the CN values obtained with this method also did not present a satisfactory performance for the estimation of Q, making it impossible to apply them in the studied areas. The runoff modeled with the average, median and geometric average of CN values were overestimated in all areas. Despite the asymptotic procedure providing a reasonable adjustment, the CN values obtained with this method also did not show satisfactory performance for the Q estimate, making it impossible to apply it in the studied areas. The best performances of the non-linear method were obtained when both, the maximum potential retention (S) and the ratio of initial abstraction (λ), were adjusted for each area where the CN was applied. The CN obtained by non-linear adjustment in the three areas of Caatinga successional (arboreal, with the predominance of Yopo (*Anadenanthera colubrina*) and with the predominance of herbaceous and shrubs), were the ones that approached the reference CNs with values of 66, 65 and 63, respectively, estimating the runoff satisfactorily.

Keywords: Soil water balance; Rainfall; Infiltration; Initial abstraction rate; Semi-arid;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 CICLO HIDROLÓGICO E BALANÇO HÍDRICO	4
2.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	5
2.3 MODELAGEM DO ESCOAMENTO	7
2.4 VEGETAÇÃO E SOLOS DA CAATINGA	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	15
3.2 CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS.....	16
3.3 COLETA DOS DADOS DE CHUVA	18
3.4 MEDIÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	18
3.5 ESTIMATIVA DA CURVA NÚMERO (CN).....	19
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5. CONCLUSÕES	37
6. REFERÊNCIAS	38

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização das áreas experimentais, sertão do Pajeú pernambucano, Serra Talhada – PE, Brasil. 15
- Figura 2.** Calha de monitoramento do escoamento superficial 18
- Figura 3.** Curvas número assintótica para cada área selecionada usando a correspondência da frequência das séries de precipitação e de escoamento classificadas independentemente; CN (R) é a curva número como função do volume de precipitação e $CN_o = 100/(1 - CN_{\infty})\exp^{(-\kappa P)}$ 26
- Figura 4.** Comparação entre os valores de CN tabelado e estimado para cada área. 30
- Figura 5.** Avaliação do desempenho dos ajustes da CN pelo diagrama de Taylor. 31
- Figura 6.** Comparação do escoamento superficial estimados pelos procedimentos de estimativas da CN para cada área. 33
- Figura 7.** Chuva e escoamento superficial observados e modelados..... 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Vegetação predominante nas áreas de caatinga sucessionais e de pastagem.	16
Tabela 2. Características dos solos das áreas de caatinga sucessionais (CA1, CA2 e CA3) e de pastagem degradada (PA) com profundidade 0-10 cm.....	17
Tabela 3. Valores de CN obtidos para as áreas de caatinga e pastagem	25
Tabela 4. Parâmetros de avaliação do desempenho dos procedimentos de estimativa da CN para as áreas de caatinga e pastagem degradada.....	28
Tabela 5. Valores de CN e parâmetros estatísticos do ajuste não-linear para CN e λ nas áreas de caatinga e pastagem degrada.	35

1 INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas constituem aproximadamente 30% do globo terrestre e são caracterizadas pela escassez hídrica, chuvas de alta intensidade, baixa frequência e incertezas na geração de escoamento (TANNER et al., 2018). Por abranger grande extensão, são significativamente afetadas pela erosividade da chuva e erosão dos solos (BAKO et al., 2016). Assim, os poucos eventos de chuvas que ocorrem nessas regiões são fundamentais para parametrizar a modelagem hidrológica. São caracterizadas por chuvas de alta intensidade e curta duração que ocasionalmente promovem o escoamento superficial e a perda de solos.

A caatinga, vegetação nativa típica do semiárido brasileiro, abrange cerca de 1.000.000 km² sendo importante por funcionar como barreira física natural capaz de reduzir o impacto direto das gotas das chuvas, a velocidade do escoamento superficial e o transporte de sedimentos (RODRIGUES et al., 2013).

A substituição da caatinga por pastagens exóticas promovidas pela atividade agropecuária na região faz com que os solos passem por um processo de degradação que ocasionam o aumento do escoamento superficial. As alterações nos processos hidrológicos promovidos pelas mudanças de cobertura e uso do solo são detectadas por diversos autores em várias localidades do globo como, tropicais não áridas da América do Sul (COSTA et al., 2003), regiões úmidas (SUN et al., 2014), zonas temperadas (SHIN et al., 2016; NAZ, 2018), regiões desérticas (ALBERT, 2015) e semiáridas (FELIX e PAZ, 2016).

A elevada variação espaço-temporal das chuvas no semiárido comprometem bastante a obtenção da relação chuva-escoamento (KUMAR et al., 2005). Apesar da chuva ser a variável mais significativa nos modelos hidrológicos e uma das principais variáveis envolvidas na geração do escoamento sofre influência nessas regiões semiáridas ou úmidas, onde podem alterar diretamente as previsões do escoamento superficial pelas condições anteriores aos eventos de ocorrência das chuvas (DURÁN-BARROSO et al., 2016). Nas décadas de 80 e 90 alguns trabalhos na região Nordeste apoiados pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), justificaram o estudo do escoamento a partir de modelagem nessas regiões (SUDENE, 1979) que seguem até o presente (CANTALICE et al., 2015; LEITE et al., 2017).

A falta de dados consistente e representativos é um dos maiores problemas enfrentados nas avaliações das mudanças nos processos hidrológicos na estimativa do

escoamento superficial. Nesse sentido o método da Curva Número (CN-NRCS) desenvolvido em 1954 pelo Serviço de Conservação de Solo dos Estados Unidos (SCS - USDA), surge como alternativa por ser capaz de computar o volume de escoamento superficial para um determinado evento de chuva em pequenas bacias agrícolas, florestais e urbanas (NRCS, 2007). A popularidade desse método são provenientes das seguintes particularidades: i) facilidade de seus cálculos para estimativa do escoamento; ii) reunir dados prontamente disponíveis para vários tipos, usos e das práticas de manejo de solos e iii) produzir estimativas de escoamento satisfatório para várias bacias agrícolas e urbanas (HAWKINS et al., 2009).

Tendo como base de entrada a chuva e as características da cobertura e uso do solo, a metodologia da curva número (CN) possui variações nos dados tabelados que precisam de um estudo mais detalhado para a região de aplicação (SARTORI et al., 2011). Por estas razões, é importante a avaliação de pesquisas capazes de estimar o escoamento a partir da CN sob diferentes usos e ocupações do solo. Diversos autores relatam que as melhores estimativas da CN são adquiridas com dados “in situ” (SHI et al., 2009; TEDELA et al., 2012; D'ASARO et al., 2014; LAL et al., 2015) onde após o seu aprimoramento, se obtém estimativas mais precisas do volume escoado em pequenas bacias rurais e urbanas.

O método da curva número é amplamente utilizado na hidrologia e sua obtenção é derivada dos dados de chuva e escoamento que coletados e calculados a partir de seus volumes. Nesta metodologia, são considerados todos os fluxos dos eventos que geraram escoamento, para cada evento de chuva. Alguns procedimentos para se calcular a CN utilizam o critério da separação por pares dos dados observados de chuva-escoamento. Quando separados por pares é possível obter a média aritmética (BONTA, 1997; TEDELA et al., 2012); mediana; média geométrica (NRCS, 2004); além de permitir os ajustes assintótico padrão (HAWKINS, 1993) e ajuste não-linear pelo métodos dos mínimos quadrados (HAWKINS, 1993). Para tanto, é necessário relacionar qual procedimento é melhor ou deve ser usado como padrão para a estimativa da CN, uma vez que, na maioria das investigações para se encontrar a CN lança-se mão de vários modelos e escolhe-se o melhor para cada condição (TEDELA et al., 2012).

Neste intuito, o objetivo deste estudo foi avaliar o escoamento superficial de água no solo a partir do método da Curva Número (NRCS-USDA) em quatro áreas com diferentes condições de uso do solo no semiárido pernambucano: sendo três áreas de caatinga sob diferentes estágios sucessionais e uma área de pastagem degradada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO E BALANÇO HÍDRICO

O ciclo hidrológico é um fenômeno de circulação fechada que ocorre entre a superfície da terra e a atmosfera, impulsionado principalmente pela energia solar, associado à geografia e o movimento da terra. Elemento fundamental da hidrologia, é a representação da água em diferentes e independentes fases, ocorrendo desde as precipitações até retornar a atmosfera em forma de vapor (SILVA, 2014).

Quando há chuva, principalmente em áreas vegetadas, uma parte do volume total precipitado é interceptada pela vegetação e o restante atinge a superfície do solo. No momento em que a chuva acontece com intensidade e ultrapassa a taxa de infiltração da água no solo, a água preenche as depressões do terreno e, na sequência, ocorre o escoamento superficial, tornando-o componente importante do ciclo hidrológico responsável pelo deslocamento da água sobre a superfície terrestre (TUCCI, 1998). O excedente da água infiltra recarregando os aquíferos, nascentes, e principalmente mantém o escoamento base na rede de drenagem pelos períodos secos, e outra parte, fica retida pela matriz do solo que fornecendo água lentamente para as plantas (SILVA, 2014).

O escoamento superficial da água é conduzido para as áreas mais baixas do relevo pela gravidade, e o processo de erosão de partículas do solo formam pequenos fios de água, os quais formarão uma microrrede de drenagem convergindo para rede de cursos de água (SILVEIRA, 2012). Os processos de infiltração e escoamento superficial influenciam o ciclo hidrológico, de maneira que quanto maior for a capacidade de infiltração da água no solo menor será o escoamento superficial, por sua vez, será menor o processo de remoção da superfície. Com uma baixa capacidade de infiltração, o escoamento superficial da água transportará um maior volume de partículas de solo pelas encostas até a rede de drenagem.

A transferência da entrada até a saída da água em uma bacia é influenciada diretamente pelas características físicas e manejo do solo (COSTA et al., 2003; NOSETTO et al., 2011), para tanto, monitorar partes constituintes do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas viabilizam repostas rápidas sobre a interação com o meio, possibilitando a obtenção de dados locais que conduzam uma avaliação precisa da disponibilidade hídrica da região (MORAES, 2007).

A substituição de florestas por pastagens tem provocado uma redução da superfície vegetada, causando uma diminuição na rugosidade dos solos e deixando-os susceptíveis a desertificação. Para MACHADO et al. (2015) uma aridização e posterior desertificação é pronunciada na região semiárida do Nordeste brasileiro, apontado pelo indicativo da redução significativa da chuva (SOUZA e OYAMA, 2011) em resposta a escala global e regional que são conectadas climaticamente. A importância dos efeitos causados pelas mudanças do uso e da cobertura do solo devem ser contabilizados para uma avaliação na opção de manejos da terra, especialmente para áreas que variem entre as latitudes de 15° Norte a 30° Sul (WANG e YAN, 2017).

Possuindo papel importante na regulação da água e reduzindo riscos de inundações, as florestas influenciam diretamente sobre a capacidade de retenção de água, e indicadores adequados para representar a quantificação dos processos são necessários, uma vez que esses ecossistemas regulam o balanço hídrico. A variabilidade e o equilíbrio hídrico são dependentes das condições meteorológicas, como por exemplo, a precipitação, temperatura e evapotranspiração que são influenciados pelas condições do solo, topografia e drenagem, fazendo com que haja grande flutuação nos processos hidrológicos, muitas vezes se tornando difíceis de descrever (BARBORA e KENDERESSY, 2017).

Portanto, utilizar o balanço hídrico e avaliar o escoamento superficial, contabilizando a entrada e saída de água em um sistema é de suma importância, pois estão ligados intimamente ao uso e cobertura do solo bem como pelas propriedades físicas e hidrogeológicas (BETRIE et al., 2011). Estudos voltados às previsões dos acontecimentos ligados as mudanças climáticas, ao uso e manejo do solo são de grande importância, uma vez que, a utilização de dados aplicados em modelagem matemática para escalas de bacias hidrográficas em ambiente semiárido contribuem para o desenvolvimento regional, a qual sofre intensamente com a alta variabilidade hidrológica e eventos extremos de precipitação (SILVA e MEDEIROS et al., 2014).

2.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial (Q) é um dos componentes mais importantes do ciclo hidrológico e responsável pelo deslocamento da água sobre a superfície terrestre. Através de estudos baseados em seus eventos são produzidos dimensionamentos hidráulicos, manejos em bacias hidrográficas entre outros. Devido a sua importância, é

um dos componentes hidrológicos mais estudados e modelados por estar intimamente ligado às previsões de suporte máximo de vazões decorrentes do escoamento, a erosão hídrica e nas diversas áreas do desenvolvimento de uma sociedade, seja na projeção à expansão urbana como na produção agrícola ou no controle de impactos gerados por esse fenômeno (TUCCI, 2008).

O escoamento superficial é o fluxo de água que ocorre na superfície do solo quando ultrapassa da sua capacidade de infiltração (SANTOS et al., 2017a) ou atingida a umidade de saturação. Quando a chuva atinge a superfície terrestre, parte dessa água é infiltrada no solo e o excedente escoar pela superfície. A intensidade e duração da chuva, a capacidade de infiltração, o uso e cobertura do solo se tornam fatores importantes nesse processo quando influenciam para um aumento na quantidade do escoamento em uma bacia hidrográfica (FIENER et al., 2011).

A energia cinética gerada pela chuva e por grandes gotas aliadas a força da intensidade da chuva (CHANG et al., 2017) provocam rápida saturação que escoar superficialmente tornando-se em um dos principais problemas geradores da degradação ambiental do planeta, principalmente nas regiões áridas e semiáridas. Os prejuízos decorrentes do escoamento abrangem tanto o meio físico quanto a sociedade, causando a diminuição da produtividade dos solos, o selamento superficial, o surgimento de voçorocas, assoreamento de corpos hídricos, entre outros problemas (FILIZOLA et al., 2011).

As perdas de água por escoamento superficial representam grande relevância em qualquer região, principalmente quando há a possibilidade do aproveitamento desse escoamento por meios de práticas capazes de reterem essa água e destiná-la as atividades inerentes desse recurso (PORTO et al., 2011). A estimativa do escoamento superficial com avaliação do potencial de rendimento de água é de extrema importância para o gerenciamento de uma bacia hidrográfica (MUÑOZ-ROBLES et al., 2011), principalmente àquelas carentes de dados e de estações hidrológicas.

As regiões áridas e semiáridas por terem solos rasos e com baixos teores de matéria orgânica, apresentam alto potencial erosivo, onde a chuva ocorrendo em curto espaço de tempo e com elevada intensidade, favorece a erosão hídrica (PRUSKI et al., 2001). Os solos predominantes dessas regiões são os mais susceptíveis à erosão, principalmente por serem pouco coesos e porosos (MAGALHÃES, 2001), de origem cristalina e baixa capacidade de infiltração, conjunto que aliado às variações espaço-

temporais das chuvas causam elevadas perdas pelo escoamento e erosão hídrica (ANJOS, 2000).

A erodibilidade do solo é representada por processos regulados pela infiltração da água e resistência do solo, a degradação e o transporte de partículas, levando para uma predisposição à erosão. Com isso, vem despertando grande interesse na pesquisa sobre erosão, por ser regido por atributos intrínsecos do solo, os quais variam de acordo com o uso e o tipo de solo (SILVA et al., 2000).

As mudanças no manejo e uso da terra exercem aumento significativo na perda do solo e erosão. A determinação das relações das taxas das perdas, o conhecimento dos processos e fatores do escoamento são atributos dos fluxos superficiais da água no solo, tornando fonte fundamental de dados, tanto para a modelagem hidrológica como para a gestão de recursos hídricos nas regiões semiáridas (MAYOR et al., 2011). Esses fatores são observados através das chuvas que caem na região semiárida brasileira, onde eventos de elevadas magnitudes são responsáveis por parte do escoamento e perda de solo (MEDEIROS e ARAÚJO, 2014; SANTOS et al., 2017).

Dessa forma, estudos com diferentes abordagens são necessários para descrever os processos hidrológicos que são orientados pela vegetação (MARTINEZ et al., 2017) atuando na interferência dos processos do escoamento e erosão do solo, principalmente para lidar com as mudanças climáticas previstas no tempo; tanto através das secas que degradam a vegetação, como chuvas extremas que influenciam no aumento das taxas de erosão dos solos (PARTON et al., 1993).

O escoamento superficial pode ser estimado por métodos empíricos e por meio da modelagem hidrológica realizada a partir de fundamentos físicos. No item 2.3 são descritos métodos e modelos destinados à estimação do escoamento superficial como forma de prever as consequências das modificações no uso e cobertura do solo permitindo realizar um balanço hídrico e obter o escoamento superficial (TUCCI, 1998; SILVA, 2014)

2.3 MODELAGEM DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A hidrologia possui papel fundamental nas questões relacionadas à gestão ambiental e no desenvolvimento da sociedade. Uma forma de abordar essas questões é a modelagem da relação chuva-escoamento quando essa é essencial para compreensão dos processos que ocorrem dentro de um sistema, como por exemplo, em uma bacia

hidrográfica. Modelar o escoamento superficial é uma forma de prever eventos que de uma forma ou outra tragam impactos ao homem ou a natureza, auxiliando com previsões futuras e conduzindo as tomadas de decisão principalmente no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos (XU et al., 2017). Em geral, é grande a variedade de estruturas hidráulicas que dependem da modelagem do escoamento, para tanto, computar seus registros visa avaliar os impactos causados ao meio ambiente pelas mudanças climáticas é extremamente importante (MISHRA e SINGH, 2003).

Há mais de 300 anos a modelagem é estudada, quando P.PERREAULT em 1674 (LINSELEY, 1982) estabeleceu a relação funcional entre a chuva-escoamento tornando-se a fórmula básica de todos os modelos hidrológicos disponíveis (MISHRA e SINGH, 2003), sendo, após alguns anos, expressa como escoamento-chuva-abstração inicial, admitindo a interceptação da água da chuva pelas plantas, a retenção no solo, entre outras, como componentes da avaliação do escoamento. Com o avanço no uso, a modelagem se tornou uma ferramenta complexa de ser feita a mão, por seus grandes volumes de cálculos quando, na década 1960, a revolução tecnológica possibilitou uma rápida resolução dos cálculos e a adição de mais atributos à modelagem do escoamento (MISHA e SINGH, 2003).

Vários métodos são utilizados para modelar o escoamento superficial (ALLEN et al., 1998; SANKARASUBRAMANIAN et al., 2001; GAO et al., 2011; ZHAO et al., 2015). ZHAO et al. (2015) utilizaram o método estatístico de regressão linear simples (SLR) para determinar a relação chuva-escoamento estabelecendo esta relação para dois períodos, um de base anual e outra o período de variação do escoamento estimado. GAO et al. (2011) propuseram o método da curva de dupla-massa (DMC) que analisa a consistência e tendências em dados hidrometeorológicos de longo prazo, utilizando como base a regressão linear das séries de chuva e escoamento acumulados em um período hidrológico. ALLEN et al. (1998) com métodos baseados na elasticidade, modelaram o escoamento em função das mudanças climáticas, caracterizados pela captação de dados baseados no método Penman-Monteith, pressupondo que a precipitação e a evapotranspiração seriam os principais causadores das mudanças climáticas. Avaliando as mudanças no escoamento anual em função da chuva e evapotranspiração potencial, SANKARASUBRAMANIAN et al. (2001), utilizaram o método não paramétrico, estimando o escoamento secundário ligados a flexibilidade climática.

Modelos importantes surgiram para quantificar as respostas hidrológicas em função às mudanças climáticas. Para WU et al. (2017) modelos como o Hydrologiska Byrans Vattenavdelning - HBV, que modela o escoamento baseado na temperatura e precipitação diária, o TOPMODEL baseado na topografia, estatísticas empíricas e modelos baseados em elasticidade da modelagem hidrológica vêm sendo comumente utilizados. Modelos com embasamento físico, como o SWAT – *Soil and Water Assessment Tool* e o VIC - *Variable Infiltration Capacity* (LETA et al, 2016; PARK e MARKUS, 2014) são outras vertentes da modelagem do escoamento superficial. Apesar da inovação tecnológica e incrementos nos modelos hidrológicos, modelos conceituais de base física são preferíveis pela facilidade na utilização e envolverem menos dados de entrada fornecendo mais detalhes do ciclo hidrológico em diferentes escalas espaciais (ZENG et al., 2015). Um dos modelos com base física é o método da curva número do Serviço de Conservação de Recursos Naturais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (NRCS-USDA), antigo SCS. O método da Curva Número (CN) estima o escoamento direto das chuvas relacionando chuva-escoamento no desenvolvimento de parâmetros entre essa relação e suas aplicações.

A metodologia Curva Número (CN-NRCS) de estimar o escoamento direto ocasionado pela chuva foi o fruto de uma grande investigação em campo com diversos trabalhos de muitos pesquisadores (MOCKUS 1949, ANDREWS 1954 e OGROSKY, 1956). O seu uso foi impulsionado em agosto de 1954 nos Estados Unidos, com a aprovação da lei de proteção contra inundações objetivando reunir resultados de estudos que associassem o planejamento das bacias hidrográficas como solução para os problemas hidrológicos, causando um salto nos estudos das previsões no NRCS (NRCS, 2004).

Os trabalhos iniciais destes pesquisadores utilizavam os dados de chuva total e escoamento total, porém, com o avançar dos estudos houve a necessidade de implementar variáveis que minimizassem a dispersão dos dados, que na época era muito grande. Com isso, informações adicionais foram incluídas ao método na tentativa de lidar com essas situações (SHERMAN, 1942).

RALIISON e MILLER (1982) descreveram a origem da evolução da Curva Número trocando gráficos de correlação pelo relacionamento da CN com números expostos em uma tabela, facilitando a aplicação do método na estimativa do escoamento em pequenas bacias agrícolas. A aplicação do método CN-NRCS foi aprimorada para uso em pequenas bacias agrícolas, estimando o escoamento com base em dados de

precipitação que estejam prontamente disponíveis, vegetação e características do solo das bacias, para onde não há dados medidos (DAL-RÉ, 2003 e ARELLANO, 2012).

A curva número se tornando conhecida e reconhecida mundialmente enraizou-se, primeiro, por ser uma metodologia de origem autorizada pelo USDA, segundo, pelas vantagens de ser simples, conveniente e capaz de entregar respostas através da captação de quatro propriedades facilmente disponíveis na localidade, sendo, o uso e tipo de solo, cobertura vegetal ou da superfície e condição de umidade antecedente (ARAÚJO NETO et al., 2012).

Com o método publicado mundialmente, vários pesquisadores têm diagnosticado, revisado e aprimorado seu desempenho sem modificarem a sua essência, a simplicidade. Trabalhos de diagnóstico acerca da metodologia (HAWKINS, 1996; MISHRA e SINGH 1999; 2002; 2003; 2004a; MICHEL et al., 2005; CHUNG et al., 2010) vêm sendo árduamente praticados. Em uma das suas últimas revisões, MISHRA e SINGH (2003) concluíram que o método da curva número (CN-NRCS) é um modelo especulativo da abstração hidrológica da chuva firmado pelo empirismo da estimativa da lâmina ou volume do escoamento, baseado na singularidade de um parâmetro numérico, a curva número (CN).

O método CN-NRCS é baseado na equação do balanço hídrico em conjunto com duas hipóteses importantes. A primeira hipótese, (Eq.2) é a equivalência da razão do escoamento superficial direto (Q) dividido pela precipitação total (P) menos a taxa de abstração inicial para taxa de infiltração (F) dividido pela retenção máxima potencial (S). A segunda hipótese, (Eq.3) relaciona a taxa de abstração inicial (perda da chuva pela interceptação e infiltração) (Ia) com a (S) retenção máxima potencial (USDA, 1986; YU, 1998; MCCUEN, 2002; MISHRA et al., 2018).

O método da CN-NRCS é baseado na equação do Balanço hídrico:

$$P = Ia + F + Q \quad (1)$$

Em conjunto com duas hipóteses importantes :

$$\frac{Q}{P-Ia} = \frac{F}{S} \quad (2)$$

e

$$I_a = \lambda S \quad (3)$$

Os valores de P, Q e S são admitidos como lâminas ou dimensões volumétricas e o coeficiente de abstração inicial (λ) é adimensional. A abstração inicial é uma quantidade subtraída do volume de precipitação antes do início do escoamento devido à interceptação, evaporação, infiltração e armazenamento na superfície (NRCS, 2004).

Para a primeira hipótese (Eq. 2) conceitua-se principalmente pela proporcionalidade, e a segunda hipótese (Eq. 3) uma relação linear entre a abstração inicial (I_a) e a retenção máxima potencial (S). Unindo as equações (1) e (2), chega-se a forma geral de aplicação do método CN-NRCS, onde o Q pode ser descrito como:

$$Q = \begin{cases} 0, & \text{para } P < I_a \\ \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a+S)}, & \text{para } P \geq I_a \end{cases} \quad (4)$$

Admitindo-se $\lambda = 0,2$, unem-se as duas equações (3) e (4) resultando em:

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

Dessa forma, o método CN-NRCS existente com $\lambda = 0,2$ é um modelo parametrizado, que serve para calcular o escoamento superficial das chuvas, possuindo importância versátil, utilidade e vasto potencial ainda não explorado (MISHRA e SING, 2018). O parâmetro S é dependente do uso e tipo de solo, da condição hidrológica e da condição de umidade antecedente, extinta pelo SCS em 1993 por problemas em sua definição, mas remodelada para atual ARC (Condição de escoamento antecedente) classificadas como ARC I, ARC II e ARCIII conforme a chuva ocorrida nos cinco dias anteriores à chuva crítica, embora, é sugerido o uso da ARC II por ser uma média para uso como CN de referência (USDA, 1985; NRCS, 2004; XIAO et al., 2011; PAZ et al., 2013; OZDEMIR e ELBASI, 2015).

Desde quando proposto para (λ) igual a 0,2 (SCS, 1972), há questionamentos sob sua aplicação, pois sua concepção foi em climas e solos americanos (HAWKINS et

al., 2001). Logo, iniciaram-se vários estudos em outras partes dos EUA e outros países onde ocorreram relatos da variação da abstração inicial na faixa de 0 a 0,3, as quais aprimoraram os ajustes dos valores obtidos com os dados locais para os cálculos do escoamento. Diante da variação da abstração inicial vários pesquisadores se reuniram para estudarem a relação entre a abstração inicial (λ) e a retenção máxima potencial (S) com aplicações práticas e objetivas (MISHRA e SINGH 2004b).

O parâmetro S (Eq. 5) é uma constante e a diferença máxima de (P - Q) que pode ocorrer para uma dada chuva e características da bacia hidrográfica, sendo limitado pela taxa de infiltração na superfície do solo ou pela quantidade de armazenamento de água disponível no perfil do solo, ou, a variável que tenha menor valor. Logo, o parâmetro S pode variar na faixa de $0 \leq S \leq \infty$, onde foi mapeado em uma curva de números - CN sem dimensões, colocando-os em um intervalos, tornando a leitura mais interessante, variando $0 \leq CN \leq 100$ (NRCS, 2004).

Por ser mais aplicada na simulação do escoamento para agricultura e no balanço hídrico de bacias, a curva número sofre variação ao utilizar dados locais, principalmente por sua baixa sensibilidade à variabilidade da chuva (ADRIANI et al., 2016), o tamanho da área de aplicação, a sensibilidade ao volume do escoamento, a falta na precisão para diferentes coberturas e não ser regionalizado com base no clima e geologia local. Dessa forma, a curva número precisa ser revisada para cada região (PONCE e HAWKINS, 1996) principalmente porque os seus valores não são apropriados para as zonas tropicais (MUZIK, 1993).

A região semiárida brasileira, mais específico o bioma caatinga, começa a ser estudada com o desenvolvimento de calibrações e validações da CN; ARAÚJO NETO et al. (2012) validando a CN para diferentes manejos da vegetação caatinga e área de pastagem concluíram que as curvas número geradas em seu estudo podem ser usadas para estimativa do escoamento superficial em condições similares de manejo no semiárido brasileiro e se aproximaram dos valores tabelados do NRCS para manejos similares obtidos para condições de uso e cobertura do solo de outros países.

2.4 VEGETAÇÃO E SOLOS DA CAATINGA

A caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro. Sua extensão territorial abrange parte do estado do Maranhão, Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e parte do norte de Minas Gerais (IBGE, 2017).

As florestas de caatinga ocupam uma área de cerca de um milhão de km² na região semiárida do nordeste do Brasil, sendo o bioma mais representativo do Semiárido brasileiro, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Sua área equivale a 10% de toda área vegetada no país.

O termo “caatinga” é originário da língua indígena que significa “mata branca”, cuja aparência típica é acinzentada durante a estação seca, onde suas folhas caem, restando das árvores apenas os troncos esbranquiçados (MAMEDE e ARAÚJO, 2008).

No Nordeste, as áreas de Caatinga abrangem centenas de milhares de quilômetros quadrados, apresentando regime de chuvas escasso na maior parte do ano, e com elevada sazonalidade espaço-temporal (MENEZES e SAMPAIO, 2000).

Caracterizada como uma floresta de predominância arbórea ou arbustiva, a caatinga é principalmente composta por espécies de plantas com algumas características xerofíticas (PRADO, 2003). Assim, como as diversas áreas vegetadas no mundo, esta também é alvo de grande exploração humana, seja pela atividade agrícola, pela extração de madeira e lenha ou pelo uso da pecuária extensiva, característica dessa região (GARIGLIO, 2010).

Estudando a dinâmica da Caatinga submetida a diferentes intensidades de uso por bovinos, MOREIRA et al. (2006) afirmaram que, nem sempre a degradação da Caatinga é regida pelo antropismo, uma vez que deve se considerar também os fatores abióticos como o clima, que tem grande influência sobre a vegetação. Ainda, registrou que no decorrer de seu estudo a mortalidade das espécies arbustivas se deu mais em função da seca prolongada do que pela intensidade de uso.

Relacionar os solos com as paisagens da Caatinga é muito importante, principalmente quando as modificações dessas áreas são resultado das ações combinadas dos fatores de formação, que vão desde o material de origem até a ação do tempo. Essa diferenciação é condicionada pelas adições, perdas, translocações e transformações da matéria e da energia no perfil de solo. A maior frequência de solos encontrados nesta região são os Latossolos, Argissolos, Neossolos Litólicos, Quartzarênicos e Regolíticos, Planossolos, Vertissolos e Luvisolos. (EMBRAPA, 2006; SOUZA, 2015).

Trazendo rapidamente uma caracterização dos principais solos da região, os quais em sua maioria são os Neossolos Litólicos, que são solos jovens, rasos (inferiores a 50 cm de profundidade), com texturas contendo silte, areia e argila, média ou argilosa, apresentando sequência de horizontes A, R ou A, C (geralmente com espessura

pequena). Em geral, ocorrem em áreas inclinadas, áreas montanhosas, existindo também em relevos planos nas regiões semiáridas, onde quase sempre são associados aos afloramentos de rocha; O Luvissole, solos minerais rasos ou pouco profundos, não hidromórficos, com alta atividade de argila, com horizonte A de consistência dura a muito dura, quando secos, estrutura em blocos ou maciça pouco desenvolvidas, seguido por um horizonte B com pouca espessura com cor avermelhada, frequentemente com mudança textural abrupta (entre o horizonte A e o B), estrutura em blocos desenvolvidos. Estes solos apresentam forte tendência a erosão com grande ocorrência de pedregosidade na superfície, tornando característica marcante desses solos (EMBRAPA, 2006).

Para ARAÚJO FILHO (2011), quanto mais se adentra no ambiente semiárido, a umidade vai diminuindo e o clima vai perdendo força sobre ação de modificação do local e a geologia é o fator que passa a assumir o destaque no conjunto de características e propriedades dos solos. Daí surge as principais características dos solos do ambiente semiárido, dando ênfase aos desenvolvidos sobre rochas cristalinas correlacionadas ao material de origem e a influência do relevo.

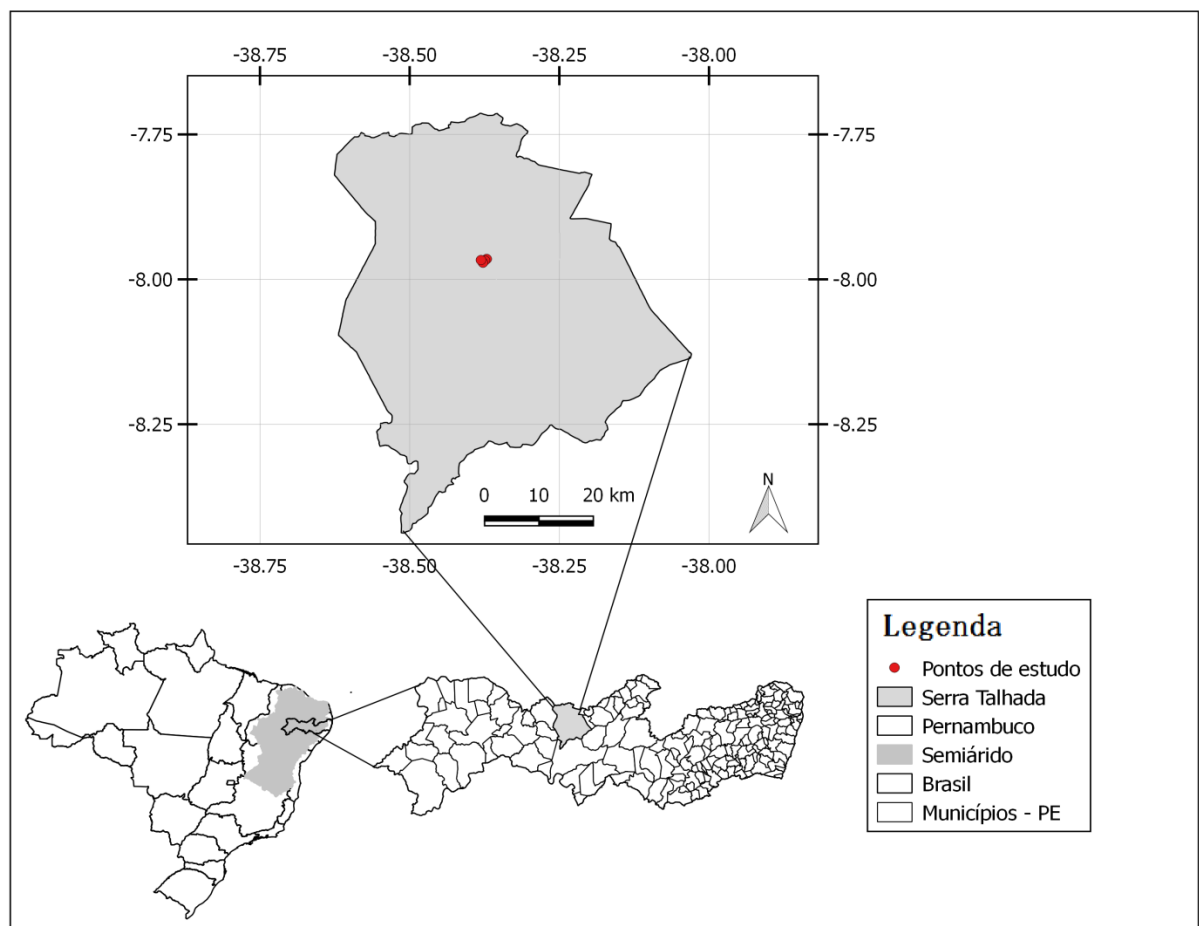
Para MEDEIROS et al. (2010), na região semiárida brasileira as características hidráulicas do solo são afetadas principalmente pela interação solo-vegetação que demonstraram seu comportamento através da quantidade de transporte de sedimentos, o qual é governado principalmente pelo escoamento, enfatizando a dificuldade em encontrar parâmetros para Caatinga que leva os estudos em modelagem a assumir parâmetros desconhecidos de outras regiões semiáridas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido nas Fazendas Lagoinha e Buenos Aires, ambas localizadas no município de Serra Talhada PE (07° 59' 31" S e 38° 17' 59" W, altitude 430 m), na microrregião do Vale do Pajeú. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo BShw' semiárido, quente e seco (ALVARES et al., 2014), com temperatura média mensal 27 °C, e as chuvas ocorrendo entre os meses de dezembro a maio, com precipitação pluviométrica média anual da região de aproximadamente 574 mm (com base nas medidas do período de 2000 a 2014 (SOUZA et al., 2016).

Figura 1. Localização das áreas experimentais, sertão do Pajeú pernambucano, Serra Talhada – PE, Brasil.



3.2 CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS

Foram escolhidas quatro áreas para o estudo, sendo três áreas de caatinga sucessional e uma área de pastagem degradada, todas compostas por várias espécies de plantas e diferentes manejos. Na Tabela 1 são apresentadas as plantas predominantes das três áreas sucessionais de caatinga, sendo: CA1 – caatinga com predominância arbórea; CA2 – caatinga com predominância de Angico (*Anadenanthera colubrina*); CA3 – caatinga com predominância de herbáceas e arbustos, e PA - área de pastagem degradada (PA).

Tabela 1. Vegetação predominante nas áreas de caatinga sucessionais e de pastagem.

Área	Nome científico	Nome popular
CA1	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro
	<i>Caesalpinia pyramidalis</i>	Caatingueira
	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Jurema
	<i>Cydonia oblonga</i>	Marmeleiro
	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico
	<i>Schinopsis brasiliensis</i>	Baraúna
	<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru
	<i>Commiphora leptophloeos</i>	Imburana-de-cambão
	<i>Amburana cearenses</i>	Umburana-de-cheiro
CA2	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico
CA3	<i>Malva sylvestris</i> L.	Malva branca
	<i>Senna obtusifolia</i>	Mata-pasto
	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Jurema
	<i>Cydonia oblonga</i>	Marmeleiro
PA	<i>Urochloa mosambicensis</i>	Capim corrente
	<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	Capim buffel
	<i>Malva sylvestris</i> L.	Malva branca

A área de caatinga (CA1) está em pousio e não é extraída madeira há aproximadamente 55 anos antes do início do presente trabalho, sendo utilizada para pastejo de animais durante a estação chuvosa. A área de Caatinga (CA2) com predomínio da espécie nativa de porte arbóreo Angico (*Anadenanthera colubrina*), é mantida em pousio no período de estiagem e utilizada para pastejo apenas na época das chuvas, estando há 35 anos sem extração de madeira. A área (CA3) teve toda a sua vegetação nativa extraída, e posteriormente foi deixada para que se regenere, apresentando predomínio de herbáceas e alguns arbustos, também sendo utilizada para o pastejo na época das chuvas com aproximadamente 7 anos sem retirada da vegetação. A área de pastagem degradada (PA), era vegetada com caatinga nativa que foi retirada por completo em 1962 para o cultivo de algodão que permaneceu até 1982, após, a área foi cultivada com milho e feijão até 1993, e em 1994 deu lugar as espécies de gramíneas exóticas, sendo exaustivamente utilizada para o pastejo animal até o presente (LEITE et al., 2017).

Os solos predominantes nas quatro áreas em estudo foram classificados como Luvissoilo Crômico e Neossolo Litólico (EMBRAPA, 2006).

Para classificação do grupo hidrológico, utilizou-se como base a análise granulométrica, densidade e condutividade hidráulica saturada do solo (Tabela 2). O teor de areia variou entre 66 e 71%, silte de 17 a 20% e argila de 11 a 16%, classificando-o como franco arenoso.

Tabela 2. Características dos solos das áreas de caatinga sucessionais (CA1, CA2 e CA3) e de pastagem degradada (PA) com profundidade 0-10 cm (LEITE et al., 2017).

Áreas	Areia	Silte	Argila	Ds	Ks	Condições hidrológicas	
	----- % -----	----- % -----		g cm ⁻³	mm h ⁻¹	Grupo de Solo	Capacidade de infiltração
CA1 †	71,65	17,24	11,10	1,39	214,0	B	Moderada
CA2 †	63,57	20,29	16,14	1,39	107,0	B	Moderada
CA3 †	68,37	20,69	10,94	1,40	76,0	B	Moderada
PA †	66,64	16,63	16,73	1,44	36,0	D	Baixa

† Franco Arenoso; Ds – Densidade do solo; Ks – Condutividade hidráulica saturada; Grupo de solo (NRCS-USDA, 2004); Capacidade de infiltração – Adaptado (Pruski, 2009.)

3.3 COLETA DOS DADOS DE CHUVA

Os dados de chuva foram coletados por meio de dois pluviômetros automáticos (TR52SUW, Texas Eletronics), com precisão de 0,2 mm, um instalado na área de Caatinga 1, a qual os dados foram utilizados na área (CA1), e outro instalado na área de pastagem (PA), onde os dados foram utilizados nas áreas CA2, CA3 e PA, devido a proximidade destas três áreas.

3.4 MEDIÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

As medidas de escoamento superficial foram realizadas utilizando calhas de 1,08 m², confeccionadas com chapa de aço galvanizado em formato retangular (0,95 m), sendo um dos lados curvado (1,05 m) onde foi instalado um conector do tipo flange para conduzir a água escoada até o reservatório. As calhas possuíam 0,30 m de altura dos quais 0,15 m foram cravados no solo. Em cada área foram instaladas cinco calhas, com o reservatório localizado na parte inferior do declive do terreno. Cada reservatório com capacidade de armazenamento de dezoito litros (SOUZA et al., 2015). A declividade variou de 3 a 10 % (LEITE et al., 2017).

Figura 2. Calha de monitoramento do escoamento superficial



Fonte: O autor

Após os eventos das chuvas, coletou-se o volume de água retido nos reservatórios de cada calha, sendo a lâmina escoada calculada pela seguinte fórmula:

$$Q \text{ (mm)} = \frac{(h \cdot \text{Arc})}{\text{Aca}} \cdot 1000 \quad (7)$$

sendo:

Q o escoamento superficial (mm);

h a altura da água no recipiente (m);

Arc a área do recipiente coletor (m²);

Aca a área da calha (m²);

As coletas do escoamento superficial (Q) nas áreas CA1 e CA2 iniciaram-se em 15/01/2014 e estenderam-se até 02/06/2017, enquanto que na área CA3 iniciaram-se em 15/01/2014 e estenderam-se até 25/04/2015, e na área PA foram registradas desde 17/02/2013 até 02/06/2017.

3.5 ESTIMATIVA DA CURVA NÚMERO (CN)

As curvas número (CN) de referência foram obtidas de acordo com o tipo de cobertura e uso de solo, condição hidrológica e caracterização físico-hídrica da camada superficial (NRCS, 2004). Para a área de caatinga sucessional CA1 definiu-se como tipo de cobertura Floresta, com regular condição hidrológica e tipo de solo grupo B, com CN 60. Para a área CA2 definiu-se como tipo de cobertura Floresta, com regular condição hidrológica e grupo de solo B, com CN 60. Para a área CA3 definiu-se como tipo de cobertura Floresta, com má condição hidrológica e grupo de solo B, com CN 66; E para a área (PA) pastagem degradada, definiu-se como tipo de cobertura pastagens para pastejo ou pisoteio com má condição hidrológica e tipo de solo grupo D, com CN 89, todos com recomendação seguindo o NRCS-USDA, 2004.

O método CN é baseado na equação do balanço de água para estimar o escoamento de um evento de chuva descrita pela Eq. 1.

Segundo o NRCS, a premissa para validação do modelo é que, a proporção de retenção de água para retenção máxima potencial seja igual à proporção de escoamento superficial para o escoamento potencial (USDA 1986; YU 1998) (Eq. 2 e Eq. 3).

Com a combinação das equações (Eq. 1, 2 e 3) e considerando que $F = P - I_a - Q$, obtém-se a equação para o escoamento.

Para calcular a CN das áreas utilizaram-se os dados de P e Q a partir de dois procedimentos: i) ajustando os dados P e Q evento a evento não ordenados; ii) P e Q em pares ordenados e em ordem crescente.

A partir dessa ordenação, utilizou-se cinco procedimentos matemáticos, sendo: a média aritmética (BONTA, 1997; TEDELA et al., 2012); a mediana (USDA NRCS, 2004); média geométrica (USDA NRCS, 2004); e os ajustes assintótico padrão e o não-linear pelo método dos mínimos quadrados (HAWKINS, 1993). Para o cálculo da retenção máxima potencial (S) utilizou-se os dados de P e Q obtidos a partir das calhas (HAWKINS, 1993).

$$S = 5 \left(P + 2Q - \sqrt{4Q^2 + 5PQ} \right), \quad (8)$$

$$CN = \frac{25400}{S+254} \quad (9)$$

sendo S, P e Q em mm e CN adimensional.

Ao passo que o valor de CN aumenta a retenção máxima potencial diminui, implicando em uma bacia hidrográfica impermeável. Quando essa situação é contrária, com o valor da CN baixo, indica uma situação de maior retenção máxima potencial ($S = \infty$) simbolizando que a bacia hidrográfica é infinitamente abstrata.

Os valores de S e CN encontrados a partir das equações (8 e 9) foram usados para obter as CN's média aritmética e a mediana, executado evento a evento.

Para média geométrica, calculou-se o logaritmo do evento da retenção máxima potencial (S) obtido a partir da equação (Eq. 8), $\log S$; determinou-se a média aritmética da série para cada calha, $\overline{\log S}$; e depois calculou-se a média geométrica da retenção máxima potencial, $10^{\overline{\log S}}$ (TEDELA et al., 2012):

$$CN = \frac{100}{\left[1 + \frac{10^{\overline{\log S}}}{254} \right]} \quad (10)$$

Para o ajuste assintótico padrão, calculou-se os valores de CN a partir das equações 9 e 10 (HAWKINS, 1993). A avaliação dos valores de CN foi feita de acordo com os três tipos de comportamento identificados por HAWKINS (1993): padrão, complacente e violento. Para o comportamento padrão, os valores da CN diminuem com a precipitação total e tendem a aproximar-se de uma CN quase constante (chamado CN_{∞}) com aumento da chuva. Este é o comportamento comumente mais observado na literatura (HAWKINS et al., 2009), e para sua avaliação é utilizada a Eq. 11 (HAWKINS, 1993).

$$CN(P) = CN_{\infty} + (100 - CN_{\infty})e^{-kP}, \quad (11)$$

sendo CN_{∞} estimado considerando como CN de referência e k é o coeficiente de ajuste que descreve a CN (P) (CN como função da chuva, P) que aproxima-se da constante assintótica CN_{∞} .

Para o comportamento complacente, o valor da CN diminui com o aumento da chuva, sem se aproximar de uma constante com valores aparentes, e o escoamento é descrito por um comportamento linear dependente apenas da chuva $Q = CP$, onde C é o coeficiente de escoamento secundário. Desta forma, a curva número não poderá ser determinada a partir de dados que tenham comportamento complacente, porque nenhum valor constante é observado claramente, segundo (HAWKINS, 1993).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar as estimativas da CN em cada procedimento foram utilizados as seguintes metodologias: para a mediana, utilizou-se o intervalo de determinação da CN de cada evento; para as médias aritmética e geométrica, utilizou-se o desvio padrão calculado a partir de todos os valores de CN estimados. Para os ajustes assintótico e não-linear calculou-se o erro padrão (SE) usando valores de escoamento observado (Q_o) e escoamento estimado (Q_e) da CN obtida por cada ajuste, e o número de observações de P e Q (n):

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2}{n}}, \quad (12)$$

O desempenho dos procedimentos de estimativa da CN o Q foi calculado para cada CN, tendo a chuva como dado de entrada, e então comparados com os valores de Q observados. Para tanto, utilizaram-se a Eficiência Nash-Sutcliffe (NSE) (NASH e SUTCLIFFE 1970):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (13)$$

sendo Q_o (mm) e Q_e (mm), respectivamente, os valores do escoamento observado e estimado para cada evento de chuva i , n é o número total de eventos de chuva e \bar{Q}_o (mm) a média do escoamento observado para todos os eventos de chuva. Quando o NSE = 1 indica um ajuste perfeito entre valores observados e estimados. O valor de NSE poderá ser também negativo, indicando que as estimativas foram tendenciosas e que a média do escoamento observado é melhor aceita que o escoamento estimado. Ainda, valores que variem entre 0 e 1, geralmente são tidos como valores de níveis aceitáveis de desempenho.

Além do NSE, utilizou-se o percentual de viés (PBias) dos escoamentos estimados Q_e em relação aos observados Q_o e o coeficiente de determinação R^2 .

Para comparar o desempenho das estimativas das CNs, foi utilizado o diagrama de TAYLOR (2001), que fornece um resumo gráfico da habilidade que cada procedimento teve ao estimar a CN, possibilitando observar quão realista cada procedimento foi capaz de produzir resultados a partir dos dados observados e quantificar o grau de correspondência entre os resultados traçados em três estatísticas: o coeficiente de correlação de Pearson, a raiz quadrada do erro médio (RMSE) e o desvio padrão (TAYLOR, 2001). O valor estimado que estiver próximo ao valor de referência no eixo x, será o procedimento que possui uma boa validação de suas estimativas. Ainda, para o eixo x, os desvios padrões observados, e para o eixo y, os desvios padrões estimados.

Os procedimentos estatísticos dos procedimentos de estimativas da CN foram descritos com o programa computacional R Development Core Team (2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Escoamento superficial nas áreas de estudo

Os dados foram gerados a partir dos eventos de chuva-escoamento que ocorreram durante quatro anos (2013-2017) nas três áreas de caatinga sucessionais (CA1, CA2 e CA3) e na área de pastagem degradada (PA). Nas áreas CA1, CA2 e CA3, os números de Q foram menores, pois as avaliações iniciaram um pouco tardio, somente em 2014, e alguns eventos de chuva não foram capazes de gerar escoamento, por serem totalmente interceptados pela vegetação. Na área de pastagem degradada (PA), o número de eventos de Q registrados, entre 2013 e 2017, foi maior e a pouca cobertura vegetal contribuía para o aumento do escoamento superficial.

Os valores mínimos de Q foram semelhantes para as quatro áreas, com valores de 1,0 mm, e com chuvas variando entre 1,0 mm a 102,0 mm. Um total de 130 eventos de (P e Q) foram registrados durante esse período, onde 91 eventos foram capazes de representar os resultados desse estudo, sendo, 19, 18 e 11 eventos para as áreas CA1, CA2 e CA3 respectivamente, e 43 na pastagem degradada, PA.

4.2 Avaliação dos valores da Curva Número

A Tabela 3 apresenta as curvas número tabeladas e estimadas de cada área. As CNs tabeladas variam de 60(CA1) a 89 (PA). Para as tendências centrais, todas as áreas apresentaram a curva número com valores estimados elevados, variando entre 77,7 (CA3) para 92,3 (CA1). O ajuste não-linear evento a evento variou entre 63,2 (CA3) para 67,0 (PA), enquanto que para o ajuste assintótico as curvas número variam entre 28,2 (PA) a 53,8 (CA2). Para o ajuste não-linear conjunto de pares ordenados, os valores variaram entre 53,3 (PA) para 63,0 (CA2).

As médias geométricas das CNs foram maiores em média 7% (todas as áreas), do que os valores estimados pelos outros procedimentos. A mediana fornece a maior CN para a área CA1, enquanto a média aritmética também é maior para a mesma área. Para as quatro áreas, os valores de CN para a média geométrica foram maiores que a mediana, que por sua vez, foram maiores que a média aritmética. Para as quatro áreas, essas três tendências centrais foram maiores do que as estimadas usando os ajustes

assintótico e não-lineares, exceto para a PA, onde os dois valores da curva número estimadas se aproximaram do valor tabelado pelo NRCS (Tabela 3).

Os intervalos de confiança na Tabela 3 não foram comparados entre os procedimentos de determinação da curva número, mas se assemelham em geral, nas tendências centrais e nos ajustes não-lineares evento a vento, com exceção das curvas número assintóticas. Os valores dos intervalos de confiança nas tendências centrais em geral ultrapassaram o limite da $CN = 100$, porém, matematicamente são passíveis de acontecer por não haver uma limitação de valores na formulação destes cálculos. Para o ajuste não-linear evento a evento, os intervalos de confiança se mantiveram dentro do recomendado pelo NRCS, $CN < 100$, fornecendo em média CNs com valores de confiança aceitável. Os maiores intervalos de confiança indicam uma baixa confiabilidade nas curvas números para essas áreas. No geral, as tendências centrais tiveram esses comportamentos, com as maiores incertezas das curvas número juntamente com o ajuste assintótico.

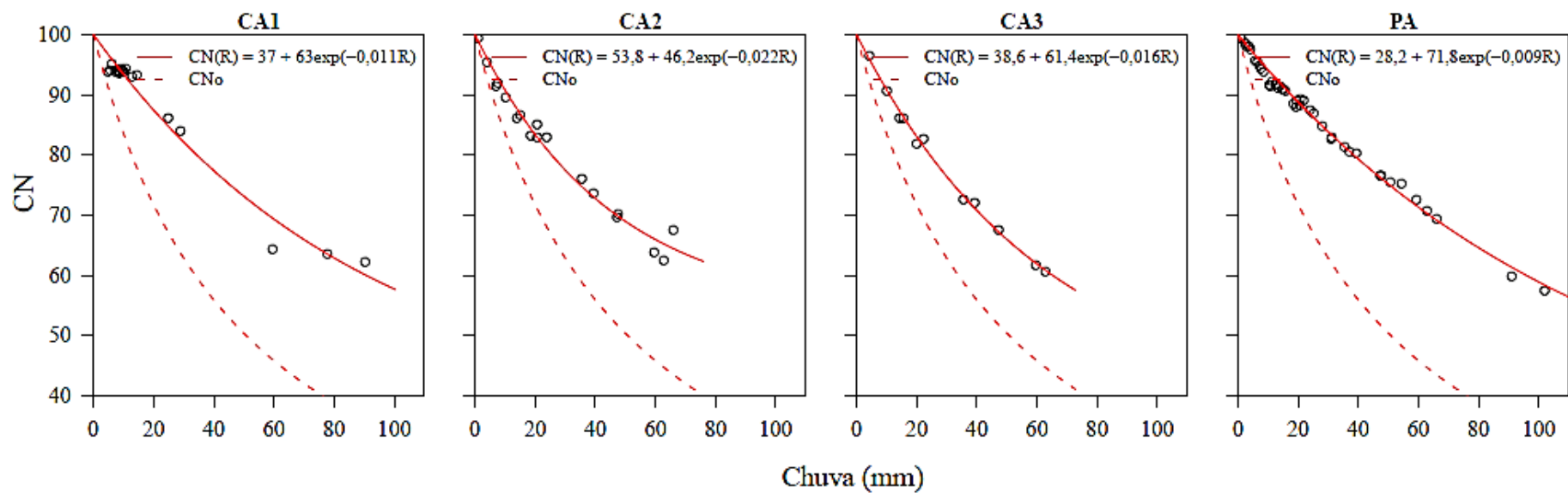
Grande parte da incerteza gerada pela CN para o ajuste assintótico, Fig. 3, é causada por efeitos das variações das chuvas; As curvas número diminuem consistentemente com as chuvas crescentes (HAWKINS, 1993), o que ocorre para as quatro áreas em estudo.

Tabela 3. Valores de CN obtidos para as áreas de caatinga e pastagem

	NRCS Tabelado	Ajustes evento a evento					Conjunto	
		Média	Mediana	Média Geométrica	Não-linear	CN _∞ (R ² , SE)	k	Não-linear
CA1	60	87,5 (74,4-100,7)	93,4 (50,4-136,3)	92,3 (79,2-105,5)	66,2 (41,5-85,8)	37,0 (0,97, 1,82)	0,011	61,7
CA2	60	80,2 (64,7-95,7)	84,0 (40,2-127,7)	86,7 (71,2-102,2)	64,9 (47,8-95,5)	53,8 (0,98, 1,53)	0,022	63,0
CA3	66	77,7 (62,9-92,4)	78,9 (41,7-116,1)	82,2 (67,5-97,0)	63,2 (50,0-82,6)	38,6 (1,00, 0,75)	0,016	61,3
PA	89	85,8 (73,5-98,2)	88,5 (42,0-135,0)	91,9 (79,6-104,2)	67,0 (39,3-94,9)	28,2 (0,99, 0,89)	0,009	53,3

CN_∞ - Ajuste assintótico. R² - coeficiente de determinação. SE – erro médio. k – taxa de ajuste assintótico. Valores de CN obtidos evento a evento para cada área. Conjunto – Ajustado com o somatório dos dados em pares de chuva-escoamento.

Figura 3. Curvas número assintótica para cada área selecionada usando a correspondência da frequência das séries de precipitação e de escoamento classificadas independentemente; $CN(R)$ é a curva número como função do volume de precipitação e $CN_{\infty} = 100/(1 - CN_{\infty})\exp^{-kP}$



Avaliando o ajuste assintótico Fig. 3, verifica-se que para todas as áreas as CNs possuem um comportamento padrão. Neste caso, as CNs possuem valores de 37, 53,8, 38,6 e 28,2 para as áreas CA1, CA2, CA3 e PA respectivamente, onde essas CNs foram admitidas em função da chuva (P), que diminui para uma constante assintótica CN_{∞} , sendo o κ o coeficiente constante que descreve a proximidade da CN à constante assintótica. Estudando o comportamento assintótico CN_{∞} alguns autores encontraram em média a resposta padrão em 80 % de 70 bacias hidrográficas (SNELLER, 1985) , 70 % de 37 bacias (HAWKINS, 1993), 80 % de 10 bacias (TEDELA et al., 2012) e 75% de 9 áreas avaliadas (OLIVEIRA et al., 2016). Neste estudo, foram obtidos 100% do comportamento padrão para todas as áreas.

A Tabela 4 lista a eficiência de Nash-Sutcliffe, o erro percentual (PBias%) e o coeficiente de determinação para cada um dos procedimentos das quatro áreas. Das eficiências negativas de Nash-Sutcliffe, uma média simples da série de escoamento observado fornece uma melhor estimativa do que os cálculos usando o procedimento que se propõe (TEDELA et., 2012). Dessa forma, as áreas que apresentaram coeficientes negativos indicam que os valores de CN encontrados a partir desses procedimentos superestimam o escoamento superficial (OLIVERIA et al., 2016). Para as eficiências positivas, ocorre o inverso, subestimam o escoamento. Para tanto, é preferível que o NSE seja positivo, uma vez que será melhor aceito em suas validações. Desse modo, os ajustes não-lineares apresentaram uma maior quantidade de valores positivos para as áreas em estudo, enquanto que o ajuste assintótico, apresentando apenas uma área com valor, ainda assim é negativo.

Para o erro percentual, PBias (%), os valores das CNs utilizadas estimando os escoamentos pelos procedimentos apresentaram altos valores, em geral, para todas as áreas com da CN tabelada e tendências centrais, sendo, os menores valores encontrados nos ajustes não-lineares. No caso do erro percentual, quanto mais distante de zero, indica uma baixa precisão do procedimento, neste caso, o valores positivos superestimam os valores de escoamento simulados para os valores observados, da mesma forma, onde apresentam valores negativos, subestimam os escoamentos simulados para os escoamentos observados (OLIVEIRA et al., 2016). Neste caso, os ajustes não-lineares apresentaram os menores valores de erro percentual, indicando uma melhor precisão entre os dados estimados e observados para áreas com esses procedimentos.

Tabela 4. Parâmetros de avaliação do desempenho dos procedimentos de estimativa da CN para as áreas de caatinga e pastagem degradada.

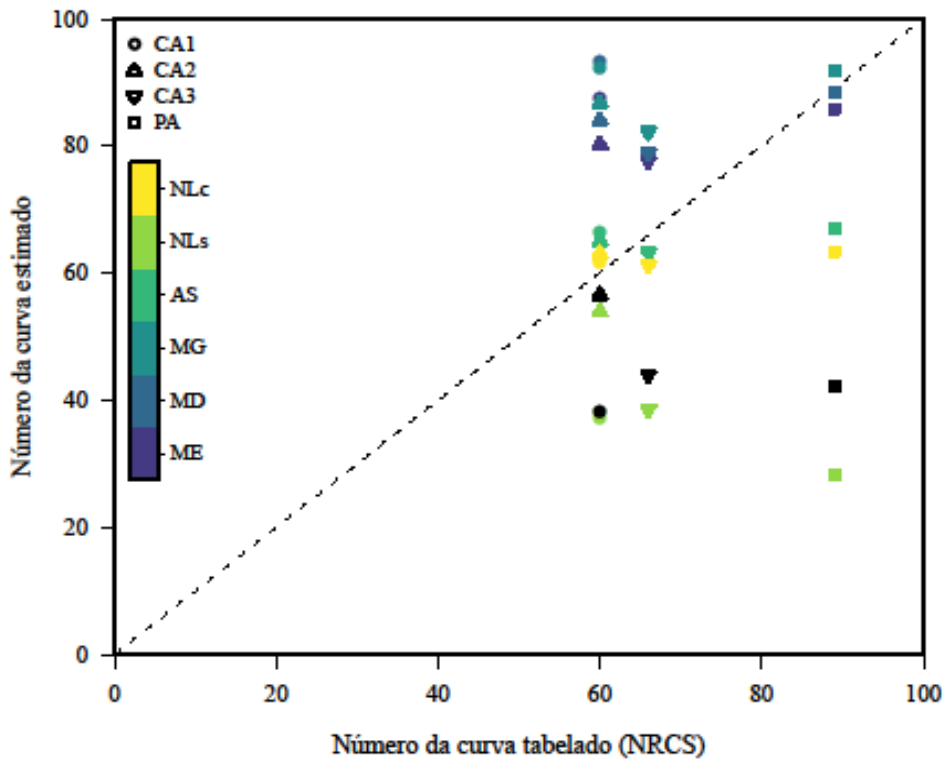
	Ajuste evento-a-evento																		Conjunto		
	Tabelado			Média			Mediana			Média Geométrica			Assintótico			Não-linear			Não-linear		
	PB	NSE	R ²	PB	NSE	R ²	PB	NSE	R ²	PB	NSE	R ²	PB	NSE	R ²	PB	NSE	R ²	PB	NSE	R ²
CA1	-13,9	0,43	0,49	151,9	-11,94	0,68	226,20	-21,39	0,64	203,8	-19,13	0,65	-	-	-	18,3	-0,14	0,48	-0,5	0,49	0,50
CA2	-38,6	0,27	0,44	171,4	-10,29	0,16	215,60	-17,98	0,10	284,3	-26,65	0,09	-73,9	-0,24	0,73	16,5	0,32	0,41	-8,2	0,40	0,42
CA3	63,0	-0,60	0,91	200,5	-25,67	0,25	199,60	-32,10	0,23	287,2	-54,43	0,21	-	-	-	16,3	0,64	0,92	-11,1	0,85	0,93
PA	137,3	-13,06	0,49	95,4	-9,73	0,45	130,40	-12,73	0,47	187,6	-18,30	0,51	-	-	-	-24,8	-1,56	0,27	-74,9	1,88	0,20

PB – Erro percentual = diferença entre o escoamento observado e estimado. NSE = Eficiência Nash Sutcliffe. R² = coeficiente de determinação. -- = dados insatisfatórios.

Os resultados negativos de NSE são possíveis de aparecerem nesses estudos, pois os dados são variáveis que não obedecem a uma lógica no relacionamento entre os parâmetros observados e estimados. Os valores de NSE que tiveram seus escoamentos superestimados, possivelmente foram causados por uma quantidade de dados de entrada de chuva e escoamento com pequenos volumes observados em campo. As variações naturais nos dados de chuvas fazem produzir uma grande amplitude nos dados de escoamentos estimados, que como consequência, geram maiores incertezas nos modelos hidrológicos, refletindo na confiabilidade das respostas geradas pelos modelos (MICHAELLIDES et al.,2009). Para os coeficientes de determinação, em geral, os melhores valores encontram-se nos ajustes não-lineares, para todas as áreas, conseguindo explicar que houve um bom ajuste entre os dados simulados pelos procedimentos e os dados observados. Para as áreas em que o R^2 valida os ajustes do modelo o PBias e NSE apresentaram valores que não corresponderam com combinação perfeita entre os valores estimados e os observados. Mesmo assim, os valores de estimativa podem ser utilizados, porém, com certa restrição por possuírem uma menor qualidade.

Comparando os valores das CNs obtidas a partir dos procedimentos com as CNs recomendadas pelo NRCS (Fig 4), observa-se que os procedimentos de tendência central (média, mediana e geométricas) produziram valores maiores de CN que os tabelados para todas as áreas. Os ajustes assintótico e os não-lineares apresentaram valores aproximados das CNs de referência, que em geral, foram inferiores aos de tendência central sem exceção de área.

Figura 4. Comparação entre os valores de CN estimado e tabelado para cada área.

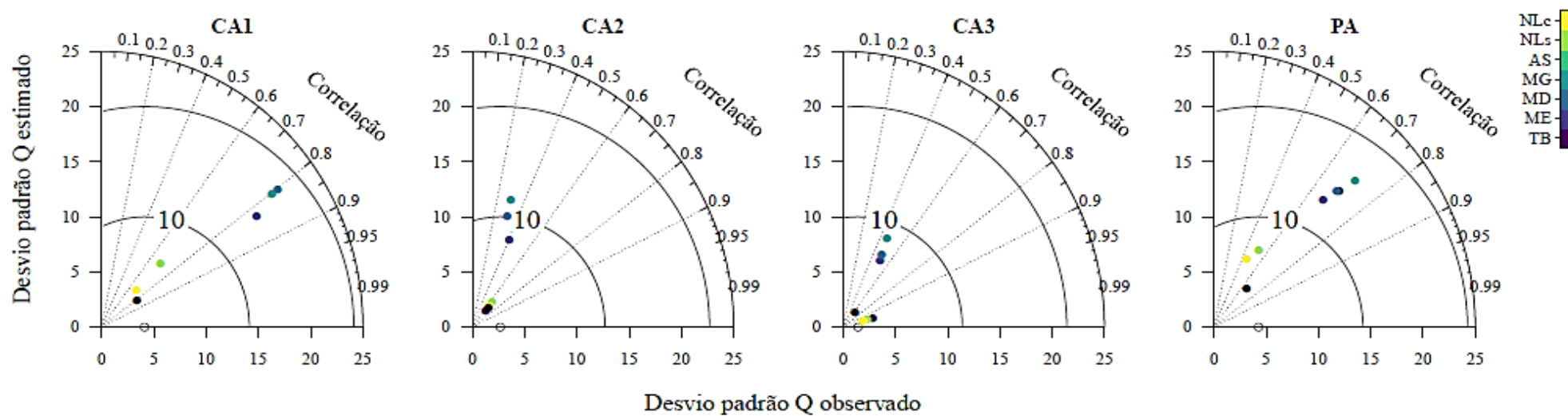


NLc – Não-linear conjunto; NLs – Não-linear evento a evento; AS – Assintótico; MG – Média Geométrica; MD – Mediana; ME – Média Aritmética

Para a área PA, destacam-se as CNs das tendências centrais, aproximando-se da CN tabelada. Além disso, nota-se que as diferenças entre as CNs estimadas e as tabeladas tendem para um aumento nos valores de CN menores, ou seja, quando o valor da CN referência é menor, sua CN estimada será maior (Figura 4), sendo válida essa observação para as tendências centrais. Alguns estudos relataram que os valores de tendências centrais tendem a produzir maiores CN do que os tabelados pelo NRCS e os ajustes assintótico e os não-lineares (STEWART et al., 2012; D'ASARO et al., 2014; LAL et al., 2015).

O diagrama de Taylor (Fig. 5), compara as variações entre os dados observados e estimados para as áreas, fornecendo em resumo, a habilidade com que os procedimentos simularam os escoamentos. Os valores simulados que melhor concordam com os observados estão situados mais próximos do ponto marcado (transparente) como observado no eixo x.

Figura 5. Estatística do escoamento estimado *versus* observado pelo diagrama de Taylor.



NLc – Não-linear conjunto; NLs – Não-linear evento a evento; AS – Assintótico; MG – Média Geométrica; MD – Mediana; ME – Média Aritmética; TB – CN tabelada

Os ajustes e procedimentos que se encontram próximos ao ponto de observação possuem o desvio padrão correto (apontando que as variações possuem amplitude padrão correta). Pode-se notar que as estimativas de Q pela CN tabelada e ajustes não-lineares se ajustaram melhor com as observações, cada um com RMSE aproximados e coeficientes de correlação ligeiramente aproximados. As estimativas de Q realizadas com CN de tendências centrais e obtidas pelo ajuste assintótico apresentaram maiores desvios padrões, bem como maiores RMSE, distanciando-os do ponto de observação. Os desvios padrões para a CN tabelada e ajustes não-lineares variaram entre 2 a 6 mm para todas as áreas apresentando pouca variabilidade, enquanto que, as tendências centrais e o ajuste assintótico variaram de 5 a 20 mm, com alta variabilidade, principalmente nas áreas CA1 e PA. Dos procedimentos avaliados, os que obtiveram os menores desempenhos foram as tendências centrais e o ajuste assintótico padrão, apresentando maiores valores de RMSE, maior variação nos desvios padrões e menores correlações.

As variações estatísticas encontradas no diagrama de Taylor para as estimativas do escoamento foram causadas pelas incertezas apresentadas na Tabela 4, figuras 6 e 7, onde o alto percentual do PBias possibilita verificar a diferença existente entre os valores estimados pelo modelo dos valores observados. Essa elevação no percentual é principalmente causada pela pouca habilidade em que o modelo teve de ajustar os valores estimados aos valores observados. Para os valores negativos de NSE, foram causados possivelmente pela aleatoriedade nos valores de P e Q, sendo a abstração inicial imposta de 0,2 supostamente não ser compatível com os valores estimados, podendo ter relação direta com a umidade antecedente do solo e a precipitação (XIAO et al., 2011), indicando o valor médio observado como um melhor preditor do que o valor simulado, implicando em um desempenho inaceitável (MORIASI et al., 2007).

Figura 6. Comparação do escoamento superficial estimado pelos procedimentos de estimativas da CN para cada área.

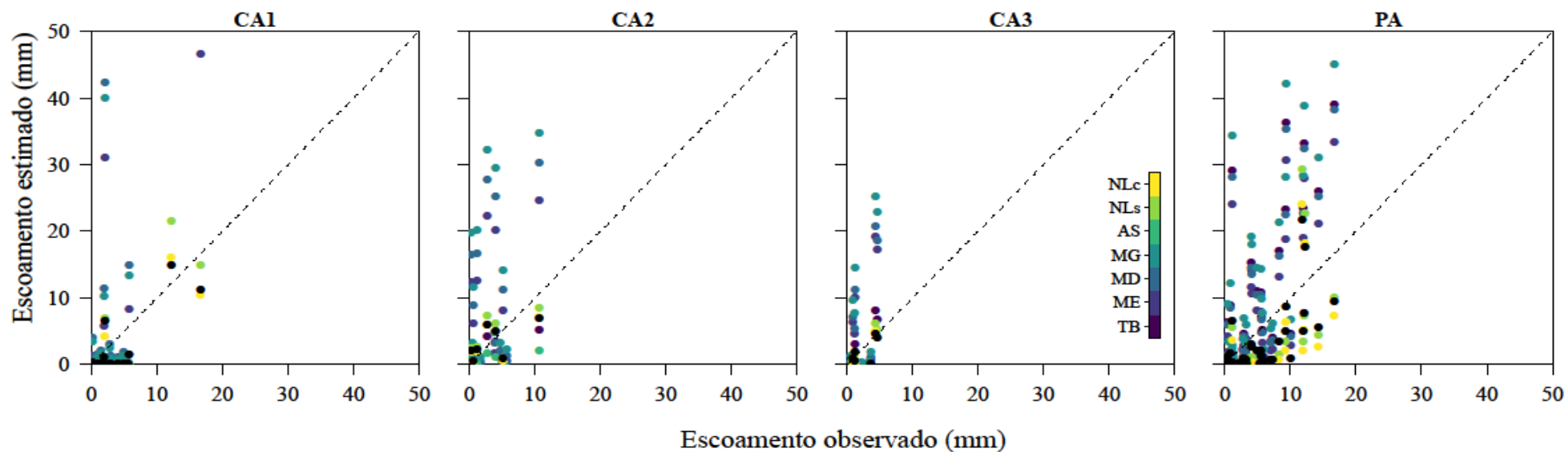
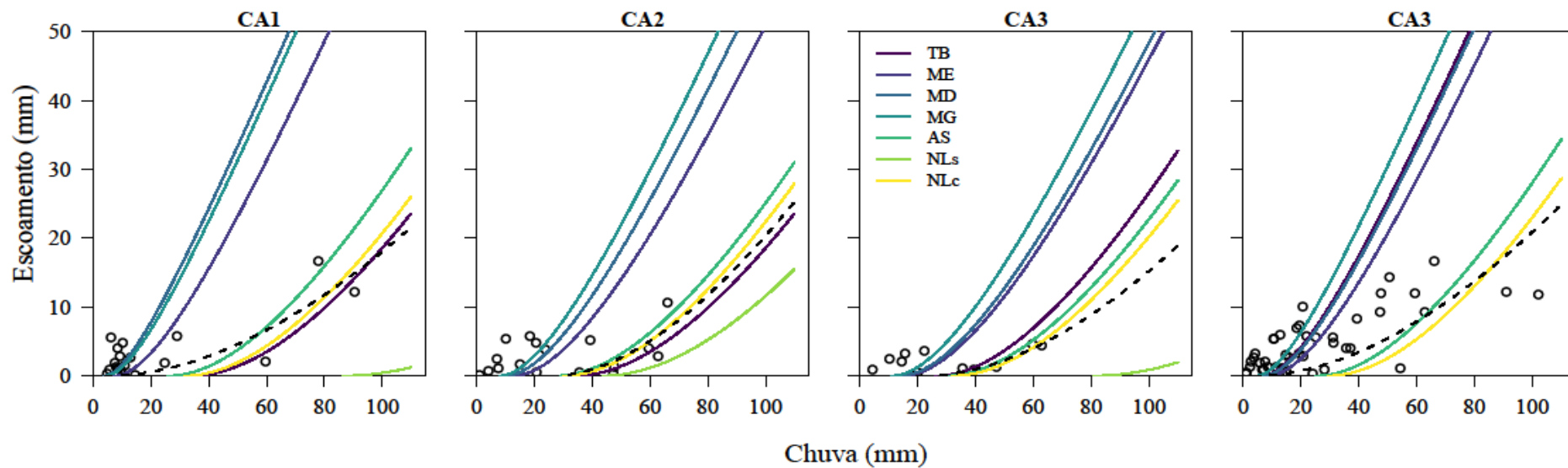


Figura 7. Chuva e escoamento superficial observados e modelados.



TB – CN tabelada; ME – Média; MD – Mediana; MG – Média Geométrica; AS – Assintótico; NLs – Não-linear evento a evento; NLc – Não-linear conjunto

Os escoamentos estimados com base nas CNs das tendências centrais e ajuste assintótico, em geral, superestimaram o escoamento superficial para todas as áreas, enquanto que os ajustes não-lineares evento a evento e conjunto mantiveram-se dentro de uma aproximação, confirmando a perceptividade do erro percentual para as CN estimadas por esses procedimentos (Figura 6).

As incertezas apresentadas nas Fig. 7 foram causadas por maiores valores de escoamento por possivelmente serem encontrados em eventos com maior intensidade de chuva, ou em períodos com vários eventos consecutivos de chuva. Isso pode indicar que outros fatores hidrológicos das áreas, como a interceptação de chuva por árvores ou pela serapilheira no solo, podendo ter uma grande influência no escoamento superficial (TEDELA et al., 2012); As estimativas dos escoamentos gerados pelas tendências centrais e pelo ajuste assintótico se aproximam fortemente dos valores observados quando as chuvas são menores, distanciando-se, consistentemente, quando as chuvas foram crescentes. Contrário ao que ocorre nas estimativas das CNs tabelada e dos ajustes não-lineares.

Sendo a CN um método substanciado por duas hipóteses empíricas, onde a primeira é a relação do valor real do escoamento superficial direto com a precipitação total (ou potencial máximo de escoamento) para a relação da infiltração real com o valor da retenção máxima potencial. A segunda hipótese relaciona a abstração inicial (I_a) com a retenção máxima potencial (S) sendo a razão da abstração inicial (λ) uma fração da retenção máxima potencial. Seguindo a recomendação do NRCS, em todos os procedimentos desse estudo admitiu-se a razão de abstração inicial (λ) igual a 0,2 (NRCS, 2004a). No entanto, alguns estudos sugerem que tanto a retenção máxima potencial (S) quanto a razão da abstração inicial (λ) devem ser calibrados para as diferentes áreas onde a CN for aplicada (MISHRA e SINGH, 2004a; HAWKINS et al., 2009; CAO, 2011). Neste intuito, com os dados observados de P e Q das áreas, simulou-se a partir do ajuste não-linear dos mínimos quadrados dos valores de CN obtidos, admitindo-se à razão da abstração inicial (λ) e a retenção máxima potencial (S) pelos valores propostos pelo ajuste (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de CN e parâmetros estatísticos do ajuste não-linear para CN e λ nas áreas de caatinga e pastagem degradada.

ÁREAS	CN	λ	PB	NSE	R ²
CA1	35,6	0,001	-43,8	0,50	0,67
CA2	56,5	0,133	-4,7	0,40	0,41
CA3	44,0	0,067	-24,0	0,05	0,41
PA	42,1	0,010	-46,2	-0,07	0,44

λ = razão da abstração inicial. PB =PBias% -erro percentual. NSE = coeficiente de Nash Suctcliffe. R² = coeficiente de determinação.

Os resultados indicam uma variação considerável nos valores de λ entre as áreas (Tabela 5). Essa variação está intimamente ligada a condição hidráulica do solo que se reflete nos valores da CN e na razão da abstração inicial (NRCS, 2004a), as quais favorecem uma melhor precisão para a razão da abstração inicial e CN de cada área quando se utilizou a λ igual a 0,2, possibilitando uma maior previsão do armazenamento máximo potencial das áreas. Analisando a estatística para as áreas (Tabela 5), o ajuste não-linear apresentou bons resultados para os dados observados, porém, o erro percentual possui valores negativos, enfraquecendo a validação do ajuste com o indicativo de subestimação do escoamento para os dados observados. Esse comportamento é principalmente atribuído à quantidade de dados de chuva-escoamento, onde, uma maior quantidade de dados de chuvas com menores volumes causam uma negatização desse erro. Os valores de NSE e R^2 indicam que mesmo com a subestimação do escoamento pelo PBias as estimativas possuem um bom ajuste pelo procedimento não-linear. Estas observações são válidas para todas as áreas.

CAO et al. (2011), estudando rotação de culturas e pastagem na Austrália com diferentes procedimentos estatísticos concluíram que, a depender do ajuste ou procedimento utilizado para calcular o S, é possível encontrar variações consideráveis quando se relacionam distintos usos e coberturas de terra, podendo parte dessa variação do S ser explicada pela umidade antecedente do solo, pelo tamanho e crescimento das plantas, mesmo evidenciando que a intensidade da chuva pouco afetou nas estimativas do S.

5. CONCLUSÕES

Os escoamentos estimados com base nos valores de CNs das tendências centrais (média aritmética, média geométrica e mediana) e ajuste assintótico, em geral, foram superestimados, enquanto que os estimados com base nos valores de CN obtidos por ajuste não-linear se aproximaram mais dos valores observados nas áreas de caatinga e de pastagem degradada.

Os melhores desempenhos do método não-linear foram obtidos quando ambos, a retenção máxima potencial (S) e a razão da abstração inicial (λ), foram ajustados para cada área onde a CN foi aplicada.

Os CN obtidos por ajuste não-linear nas três áreas de caatinga sucessionais (arbórea, com predominância de angico e com predominância de herbáceas e arbustos), foram os que mais se aproximaram das CNs de referência com valores de 66, 65 e 63, respectivamente, estimando satisfatoriamente o escoamento superficial. Apesar do melhor desempenho do procedimento não-linear, ainda assim, houve uma subestimativa do escoamento em 33%, quando comparado a CN de referência, na área de pastagem.

6. REFERÊNCIAS

ALBERT, B. M. Past vegetation influence on the hydrological cycle in the Chihuahuan Desert, North Mexico as indicated by data of four pollen sites. **Quaternary International**, v.374, p. 168–181, 2015.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, 1998.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ANDREWS, F.T.; CROKE, B.F.W.; JAKEMAN, A.J. An open software environment for hydrological model assessment and development. **Environmental Modeling & Software**, v 26, n. 10, p. 1171-1185, 2011.

ANDREWS, R.G. The use of relative infiltration indices in computing runoff (unpublished). **Soil Conservation Service**, p. 6, 1954. Citado em Revisiting the Soil Conservation Service Curve Number Method. *Water Science and Technology Library Hydrologic Modeling*. v. 81, p. 978-981, 2018.

ANDRIANI, J. M.; MAGNANO, L.; SANMARTI, N. Modelo quantitativo-qualitativo de escoamento de águas superficiais em solos agrícolas da região dos Pampas da Argentina. **Ciencia Terra**, v. 34, n. 2, p. 293-301, 2016.

ANJOS, J. B. Métodos de captación de água de lluvia in situ e irrigación. In: FAO (Roma, Itália). **Manual de práticas integradas de manejo y conservación de suelos**. Roma, v. 8, cap. 15, p. 139-150, 2000.

ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. V.; PINHEIRO, E. A. R. Otimização do número de curva (CN-SCS) para diferentes manejos na região semiárida. **Irriga**, p. 264 - 279, 2012.

ARELLANO, M. J. L. L.. **Vulnerabilidad y gestión de riesgos por deslizamientos e inundaciones en la cuenca superior del Río Huehuetán, Chiapas**. Tesis Doctoral. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Programa de Posgrado. Jiutepec, Morelos, México. 447 p. 2012.

BAKO, A.N.; DARBOUX, F.; JAMES, F.; JOSSERAND, C.; LUCAS, C. Pressure and shear stress caused by raindrop impact at the soil surface: scaling laws depending on the water depth. **Earth Surf. Process. Landf**, v. 41, p. 1199-1210, 2016.

BARBORA, Š., KENDERESSY, P. Assessment of water retention function as tool to improve integrated watershed management. (case study of Poprad river basin , Slovakia). **Science of the Total Environment**, p.1082–1089, 2017.

BONTA, J.V. Determination of watershed curve number using derived distributions. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.123, n. 1, p. 28-36, 1997.

CANTALICE, J, R, B.; De OLIVEIRA, R. M. G.; FERREIRA, T. A. E.; FILHO, M.C.; Da CRUZ, D. V.; FALCÃO, A. P. S. T. Estudo Estatístico Do Coeficiente De escoamento Superficial Da Bacia Hidrográfica Do Riacho Jacu No Sertão Do Pajeu – Pe, **Revista Brasileira Biometria**, v.33, n.3, p.277-290, 2015.

CAO, H.; WILLEM VERVOORT, R.; DABNEY, S. M. Variation in curve numbers derived from plot runoff data for New South Wales (Australia). **Hydrological Processes**, v. 25, n. 24, p. 3774–3789, 2011.

CHANG, J. M., CHEN, H., JOU, B. J. D., TSOU, N. C., LIN, G. W. Characteristics of rainfall intensity, duration, and kinetic energy for landslide triggering in Taiwan. **Engineering Geology**, v. 231, n. 1, p. 81–87, 2017.

CHUNG W, WANG I, WANG R. Theory based SCS-CN method and its applications. **Journal of Hydrology Engineering**, v. 15, n. 12, p.1045–1058, 2010.

COE, M.T.; E. M. LATRUBESSE.; M. E. FERREIRA.; M. L. AMSLER. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1-3, p.119-131, 2011.

COSTA, M. H., BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, p. 206-217, 2003.

D'ASARO, F.; GRILLONE, G.; HAWKINS, R. Curve Number: Empirical evaluation and comparison with Curve Number handbook tables in Sicily. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 19, n. 12, 2014.

DAL-RÉ, T. R. Pequeños embalses de uso agrícola. **Ediciones Mundi-Prensa**. Madrid, España. 385 p. 2003.

DURÁN-BARROSO, P.; GONZÁLEZ, J., VALDÉS, J. B. Improvement of the integration of Soil Moisture Accounting into the NRCS-CN model. **Journal of Hydrology**, v. 542, p. 809–819, 2016.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- **Centro Nacional de Pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2006.

FELIX, V. S.; PAZ, A. R. **Representação dos processos hidrológicos em bacia hidrográfica do semiárido paraibano com modelagem hidrológica distribuída**. RBRH, v 21, n 3, p. 556-569, 2016.

FIENER, P.; AUERSWALD, K.; VAN OOST, K. Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments – A review. **Earth-Science Reviews**, v. 106, p. 92-104, 2011.

FILIZOLA, H. F.; ALMEIDA FILHO, G. S.; CANIL, K.; SOUZA, M. D.; GOMES, M. A. F. Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de 97 solos arenosos. Circular Técnica, 22. **Embrapa Meio Ambiente**, 7p, 2011.

GAO, P.; UM, X.M.; WANG, F. LI, R. Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River. **Hydrology and Earth System Sciences**, v15, n. 1, p. 1-10, 2011.

HAWKINS, R.H. Asymptotic determination of runoff Curve Numbers from data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 119, n. 2, p.334-345, 1993.

HAWKINS, R.H.; KHOJEINI, A.V. Initial abstraction and loss in the curve number method . **Hydrological Society Proceedings**, p. 29-35. 2000.

HAWKINS, R.H.; WARD, T. J.; WOODWARD, D. E.; VAN MULLEN, J. A. Curve number hydrology: State of the practice. **American Society of Civil Engineers (ASCE)**, 116 p, 2009.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2017. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm?c=4>>. Acesso em: Jan 2018.

LAL, M.; MISHRA, S.K., PANDEY, A. Physical verification of the effect of land features and antecedent moisture on runoff curve number. **Catena**,v. 133, n. 10, p. 318-327, 2015.

LEITE, P. A. M.; DE SOUZA E. S.; DOS SANTOS, E. S.; GOMES, R. J.; CANTALICE, J. R.; WILCOX, B. P. The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semiarid region of Brazil. **Ecohydrology**, p. 1–12, 2017.

LETA, O. T.; EL-KADI, A. I.; DULAI, H.; e GHAZAL, K. A. Assessment of climate change impacts on water balance components of Heeia watershed in Hawaii. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 8, p. 182–197, 2016.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S.; LIRA, C. A. B. O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.1, p.89-95, 2006.

- LINSLEY, R. Hydrology for Engineers. **Book McGraw-Hill**, 508 p, 1982.
- MACHADO, C. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; ALVES, E. M; SOUZA, E. S.; Ribeiro, A. A.; FIRMINO, F. H. T. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú , Pernambuco, **Revista Brasileira de recurso Hídricos**, v. 20, p. 731–740, 2015.
- MAGALHÃES, R. A. **Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle**. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia- GO, 2001.
- MARTINEZ, G.; WELTZ, M.; PIERSON, F. B.; SPAETH, K. E.; PACHEPSKY, Y.. Scale effects on runoff and soil erosion in rangelands: Observations and estimations with predictors of different availability. **Catena**, v. 151, p. 161–173, 2017.
- MAYOR, A. G. et al.. Scale-dependent variation in runoff and sediment yield in a semiarid Mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, v. 397, p. 128-135, 2011.
- MCCUEN, R. H. Approach to confidence interval estimation for curve numbers. **Jounal Hydrology Enginnering**, v. 7, n.1, p. 43–48, 2002.
- MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C. de. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, p. 1216-1223, 2014.
- MICHAELLIDES. S.; LEVIZZANI, V.; ANAGNOSTOU, E., BAUER P., KASPARIS T.; LANE, J. E. Rainfall: measurement, remote sensing, climatology and modeling. **Atmospheric Research**, v. 94, n.4, p. 512-533, 2009.
- MICHEL, C.; VAZKEN. A.; CHARLES, P. Soil conservation service curve number method: How to mend among soil moisture accounting procedure? **Water Resources Research**, v. 41, n. 2, p.1–6, 2005.
- MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. Another look at the SCS-CN method. **Journal Hydrology Enginnering**, v.4, n.3, p. 257–264, 1999.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. SCS-CN method: part-I: derivation of SCS-CN based models. **Acta Geophys Pol**, v. 50, n. 3, p. 457–477, 2002.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology. Vol. 42, **Water Science and Technology Library**, v.42 ISBN 1-4020-1132-6, 513 p, 2003.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. Validity and extension of the SCS-CN method for computing infiltration and rainfall-excess rates. **Hydrology Process**, v. 18, p. 3323–3345, 2004a.

MISHRA, S. K. ; SINGH, V. P. Long-term hydrological simulation based on soil conservation service curve number. **Hydrology Process**, v. 18, n. 7, p. 1291–1313, 2004b.

MORAES, M. F. **Estimativa do balanço hídrico na bacia experimental/representativa de Santa Maria/Cambiocó - Município de São José de Ubá – RJ**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 233p, 2007.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Tran. ASABE**. V. 50 n.3 p. 885–900, 2007.

MUÑOZ-ROBLES, C.; REID, N.; TIGHE, M.; BRIGGS, S. V.; WILSON, B. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semiarid Australia. **Geoderma**, v. 160, p. 524–534, 2011.

MUZIK, L. Applicability of the modified SCS prediction method to small catchments in Thailand. In: **Hydrology of warm humid regions** (Proc. Yokohama Symp.), IAHS, v. 216, p.195-201, 1993.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models. **Journal of Hydrology**,v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

NRCS - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE: National Engineering Handbook, Part 630 **Hydrology**, U.S. Department of Agriculture, **Chapt. 7**, Hydrologic Soil Groups, 2007.

NAZ, B. S.; KAO, S. C.; ASHFAQ, M.; GAO, H.; RASTOGI, D. & GANGRADE, S. Effects of climate change on streamflow extremes and implications for reservoir inflow in the United States. **Journal of Hydrology**, v. 556, p. 359–370, 2018.

NOSETTO, M. D. et al. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.11, n. 1, p.1101-1117, 2011.

NRCS-USDA (Natural Resources Conservation Service). Estimation of direct runoff from storm rainfall. Chapter 10, Part 630, **hydrology**. **National Engineering Handbook, Title 210**. Washington, DC: USDA, 2004.

OGROSKY, H. O. Service objectives in the field of hydrology, (unpublished). **Soil Conservation Service**, Lincoln, NE, 5 pp, 1956.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING , M. A.; HAWKINS , R. H.; STONE , J. J.; RODRIGUES, D. B. B.; PANACHUKI, E.; WENDLAND, E. Curve number estimation from Brazilian Cerrado rainfall and runoff data. **Journal of soil and water conservation**, v. 71, n. 5, 2016.

OLIVEIRA, P.T.S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOODRICH, D.C.; WENDLAND, E.; GUPTA, H.V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. **Water Resources Research**, v. 50, n. 9, p.7100-7114, 2014.

OZDEMIR, H.; ELBAŞI, E. Benchmarking land use change impacts on direct runoff in ungauged urban watersheds. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 79-82, p. 100–107, 2015.

PARK, D., MARKUS, M.. Analysis of a changing hydrologic flood regime using the Variable Infiltration Capacity model. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 267–280, 2014.

PARTON, W. J.; SCURLOCK, J. M. O.; OJIMA, D. S.; GILMANOV, T. G.; SCHOLES, R. J.; SCHIMEL, D. S.; KIRCHNER, T.; MENAUT, J.-C.; SEASTEDT, T.; GARCIA MOYA, E.; KAMNALRUT, A.; KINYAMARIO, J. I. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide Glob. **Biogeochem. Cycles**, v. 7, p. 785-809, 1993.

PAVÃO, C. G.; FRANÇA, G. S.; GIULIANO, S. M.; MENEZES, P. H. B. J.; NETO, G. B. S.; ROIG, H. L. Spatial interpolation applied a crustal thickness in Brazil. **Journal of Geographic Information System**, v.4, n.2, p.142-152, 2012.

PAZ-PELLAT, FERNANDO; MARIN-SOSA, MA. ISABEL.; MARTINEZ-MENEZ, MARIO. Modelo expo-lineal de la precipitación-escurrimiento en lotes experimentales de largo plazo en cultivos de maíz. **Tecnología y ciencias del agua**, Jiutepec, v. 4, n. 5, p. 85-97, 2013.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff curve number: has it reached maturity? **Journal Hydrologic Engineering**, v. 1, p.11-19, 1996.

PORTO, E. R.; SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L. Conservação e uso racional de água na agricultura dependente de chuvas. In. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas / editores, Salomão de Souza Medeiros, Hans Raj Gheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz – Campina Grande, PB: **Instituto Nacional do Semiárido**, 440 p, 2011.

PRUSKI, F. F. Escoamento superficial. 2. ed.Viçosa: **UFV**, 240 p, 2009. Conservação de solo e água.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 5, n. 2, p. 301-307, 2001.

RALLISON, R.E.; MILLER, N. Past, present and future SCS runoff procedure. In Rainfall-Runoff Relationships, V.P. Singh, ed., **Water Resources Publ.**, Littleton, CO, p. 353–364, 1982.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. A.; MENDONÇA, L. A. R.; ARAÚJO, J. C.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO, E. M. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.312-318, 2013.

SANKARASUBRAMANIAN, A.; VOGEL, R. M.; LIMBRUNNER, J. F. Climate elasticity of streamflow in the United States. **Water Resources Research**, v. 37, n. 6, p. 1771-1781, 2001.

SANTOS, J. C. N.; DE ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. De Q. Impacto do uso da terra na erosão do solo em diferentes escalas no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica , Fortaleza**, v. 48, n. 2, p. 251-260, 2017.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. ALVES.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017a.

SARTORI, A.; HAWKINS, R. H.; GENOVEZ, A.M. Reference Curve Numbers and behavior for sugarcane on highly weathered tropical soils. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, n.11, p. 705-711, 2011.

SCS. SECTION 4:Hydrology. National Engineering Handbook. Washington, D.C.: **Soil Conservation Service**, United States Department of Agriculture, 1972.

SHERMAN, L.K. The unit hydrograph method. In **Physics of the Earth, IX, Hydrology**, O.E. Meinzer, ed., National Research Council, McGraw-Hill, NY. 1942.

SHIN, Y.; LEE, E. J.; JEON, Y. J.; HUR, J.; OH, N. H. Hydrological changes of DOM composition and biodegradability of rivers in temperate monsoon climates. **Journal of Hydrology**, v.540, p. 538–548, 2016.

SILVA, D. C. **Interceptação da chuva e escoamento superficial de água no solo no semiárido pernambucano.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2017.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.

SILVA, R. G. Introdução à bioclimatologia animal. FAPESP/Nobel. São Paulo-SP, 286 p, 2000.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; DOS SANTOS, J. Y. G. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. **International Journal of Sediment Research**. 2017.

SILVA, R. M.; MEDEIROS, I. C. de. Análise hidrossedimentológica em ambiente SIG usando o modelo SWAT. **Geofocus**, v. 14, n. 2, p. 211-231, 2014.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: **Editora da UFRGS/ABRH**, p. 35-51, 2012.

SOUZA, D.C.; OYAMA, M. D. Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil. **Theor. Appl. Climatol**, v. 103, p. 345-357, 2011.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; HECK, R. J.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LIMA, J. R. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ANGULO-JARAMILLO, R.; VAUCLIN, M. Effect of crusting on the physical and hydraulic properties of a soil cropped with Castor beans (*Ricinus communis* L.) in the northeastern region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 141, n.18, p. 55-61, 2014.

SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A C. D. & LIMA J. R. DE S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG –v.19, n.5, p.449–455, 2015.

SOUZA, R.; FENG, X.; ANTONINO, A.; MONTENEGRO, S.; SOUZA, E.; PORPORATO, A. Vegetation response to rainfall seasonality and interannual variability in tropical dry forests: Tropical dry forests under rainfall seasonality. **Hydrological Processes**, v. 30, p. 3583–3595, 2016d.

STEWART, D.; CANFIELD, E.; HAWKINS, R. H. Curve Number determination methods and uncertainty in hydrologic soil groups from semiarid watershed data. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n.11, p.1180-1187, 2012.

SUDENE, Superintência do Desenvolvimento do Nordeste. **Relatório Anual, 1978**. Disponível em: https://books.google.de/books?id=kuENAQAIAAJ&pg=RA3-PA2&1pg=RA3-PA2&dq=real%C3%B3rio+sobre+escoamento+superficial+SUDENE&source=bl&ots=Wa1YZIP_Qz&sig=wYvGW-Ivvnv4mEO39f_vz2uPLWQ%hl=pt-BR&sa=X&ved=0a
Acesso em: 06 Mai.2018.

TANNER, S.; KATRA, I.; ARGAMAN, E.; BEN-HUR, M. Erodibility of waste (Loess) soils from construction sites under water and wind erosional forces. **Science of the Total Environment**, v. 616–617, p.1524–1532, 2018.

TAYLOR, K. E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. **Journal of Geophysical Research**, v.106, n.7, p.7183-7192, 2001.

TEDELA, N. H.; MCCUTCHEON, S. C.; RASMUSSEN, T. C.; HAWKINS, R. H.; SWANK, W. T.; CAMPBELL, J. L.; ADAMS, M. B.; JACKSON, C. R.; TOLLNER, E. W. Runoff Curve Numbers for 10 small forested watersheds in the mountains of the Eastern United States. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n.11, p. 1188-1198, 2012.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. 1 ed. **Porto Alegre: UFRGS/ABRH** 669p. 1998.

USDA NRCS (Natural Resources Conservation Service). Estimation of direct runoff from storm rainfall. Chapter 10, Part 630, **hydrology. National Engineering Handbook**, Title 210. Washington, DC: USDA, 2004.

USDA. National Engineering Handbook. Section 4. **USDA SCS**. Washington, D.C. 1985

USDA. Urban hydrology for small watersheds. Technical release, n. 55 (TR-55). Washington, DC: **USDA Natural Resources Conservation Service**, 1986.

XIAO, B.; WANG, Q. H.; FAN, J.; HAN, F. P.; DAI, Q. H. Application of the SCS-CN model to runoff estimation in a small watershed with high spatial heterogeneity. **Pedosphere**, v. 21, n. 6, p. 738–749, 2011.

XU, Z.; LI, L.; ZHAO, J. A distributed eco-hydrological model and its application. **Water Science and Engineering**, v. 10, n. 4, p. 257–264, 2017.

YU, B. Theoretical justification of SCS method for runoff estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 124, n.6, p.306-310, 1998.

ZHAO, Y.F.; ZOU, X.Q.; GAO, J.H.; XU, X.W.H.; WANG, C.L.; TANG, D.H. TANG.; WANG, T.; WU, X.W. Quantifying the anthropogenic and climatic contributions to changes in water discharge and sediment load into the sea: a case study of the Yangtze River, China **Science of the Total Environment**, v. 536, p. 803-812, 2015.