



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**ANA KARINE MARTINS GOBIRA**

**SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA UTILIZANDO O MÉTODO CHUVA-DEFLÚVIO  
(SCS-CN) PARA A BACIA DO AÇUDE EDSON QUEIROZ, SANTA QUITÉRIA,  
CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2017**

ANA KARINE MARTINS GOBIRA

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA UTILIZANDO O MÉTODO CHUVA-DEFLÚVIO (SCS-CN) PARA A BACIA DO AÇUDE EDSON QUEIROZ, SANTA QUITÉRIA, CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G517s Gobira, Ana Karine Martins.  
Simulação hidrológica utilizando o método chuva-deflúvio (SCS-CN) para a Bacia do Açude Edson Queiroz, Santa Quitéria, Ceará / Ana Karine Martins Gobira. – 2017.  
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa.

Coorientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.

1. Balanço hídrico. 2. Vazão afluente. 3. Coeficiente de Nash-Sutcliffe. I. Título.

CDD 630

---

ANA KARINE MARTINS GOBIRA

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA UTILIZANDO O MÉTODO CHUVA-DEFLÚVIO (SCS-CN) PARA A BACIA DO AÇUDE EDSON QUEIROZ, SANTA QUITÉRIA, CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 07/07/2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Agrônomo Francisco Jairo Soares Pereira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Civil Ronner Braga Gondim  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao amor, que nos faz sentir: leve, solto, feliz, .... e vivo,  
personificado em meus pais e  
em meu amado namorado.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Tomo a liberdade de parafrasear Drummond no Poema de Sete Faces. Quando eu nasci, um anjo também me disse que eu seria “gauche” na vida. Na tradução do francês, gauche (a pronúncia é gouchê) significa esquerdo. Na nossa cultura, esquerdo ou canhoto, é alguém não regular. E posso afirmar, que em quase tudo nessa vida fui uma pessoa regular.

Esse modo não muito linear, acabou por refletir na minha vida acadêmica. Por muitos motivos, houveram algumas interrupções durante minha graduação. A vida em certos momentos me fez parar, e seguir por outros caminhos. No entanto, mesmo tendo descoberto outros talentos e aptidões no decorrer desta caminhada, a paixão por essa profissão foi algo que não morreu.

Primeiramente agradeço a Deus por ter me conduzido até aqui e por saber que daqui me levará para mais longe, por ter me ensinado tanto, mesmo eu merecendo tão pouco, por ter cuidado dos que me são caros e por ter me ajudado quando eu mais precisava.

A Universidade Federal do Ceará pela estrutura concedida e a todos os meus professores, pelo conhecimento repassado e por me mostrarem a nobreza da profissão que escolhi. Em especial ao DENA, onde fui bem acolhida por todos, desde funcionários até professores.

A toda minha família, em especial à minha mãe Maria do Carmo, pela sua presença e pelo seu apoio, pela paciência e pela compreensão, pelas horas de trabalho que dedicou em sua vida, por me doar seu carinho e seus cuidados e por me permitir caminhar até aqui de mãos dadas, sem nunca reclamar nem desanimar diante das incertezas do futuro.

Ao meu querido namorado, Givanilson, por estar sempre ao meu lado ao longo dessa jornada, na medida que me proporcionou toda tranquilidade para desenvolver este trabalho, e por compreender as minhas não raras ausências humorais.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre, pela magnífica orientação e pela ajuda na construção do conhecimento que me possibilitou realizar este trabalho, bem como pela parceria e o fácil convívio.

Ao Grupo de Pesquisa em Hidrosedimentologia de Regiões Semiáridas, cito os hidrosedianos, Ronner Gondim, Léa Moraes, David Teixeira, Adão Barros e Pedro pela ajuda prestada, pela amizade, pelos momentos de alegria e companheirismo, e em especial, o meu amigo Jairo Soares pelos momentos de apoio, de conhecimentos repassados, por toda a amizade,

carinho, e até pelos estresses, mas que no fim foram imprescindíveis para a realização desse trabalho.

À Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, pelos dados fornecidos, os quais, sem eles, não teria sido possível a realização desse trabalho. À Companhia de Gestão de Recursos Hídricos, especialmente o Engenheiro Walt Disney Paulino, pela atenção e pelas dúvidas tiradas.

Aos meus amigos de graduação, Daniele, Bruno, Márcio, Rafael, Diego, Elber, e outros, pela amizade e pela alegre e amistosa convivência compartilhada ao longo do curso.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho, a minha gratidão.

Finalmente, aos não citados pelo esquecimento no momento em que escrevo este agradecimento, nem por isso menos importantes, aceitem além do muito obrigada, o meu pedido de desculpas.

“Cabe ao homem compreender que o solo fértil onde tudo que se planta dá, pode secar. Que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas.

Que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição. O homem precisa entender que da sua boa convivência com a Natureza depende a sua subsistência; e que a destruição da Natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a Natureza, o seu princípio e o seu fim.”  
(Elizabeth Jhin)

## RESUMO

GOBIRA, Ana Karine Martins, Universidade Federal do Ceará. Julho de 2017. **Simulação hidrológica utilizando o método chuva-deflúvio (SCS-CN) para a Bacia do Açude Edson Queiroz, Santa Quitéria, Ceará.** Orientador: Carlos Alexandre Gomes Costa.

Os modelos hidrológicos surgem como ferramentas para auxiliar nos processos decisórios, permitindo análise prévia de resultados de simulações. A simulação do comportamento hidrológico em bacias hidrográficas consiste num artefato para a gestão dos recursos hídricos, devido à possibilidade de predição do regime fluvial. A Bacia Hidrográfica do Açude Edson Queiroz está localizada no semiárido cearense, ao norte do Estado do Ceará, cuja área de drenagem possui 1.777 km<sup>2</sup>, possuindo uma elevada importância para o abastecimento d'água do município de Santa Quitéria. Este trabalho teve como objetivo diagnosticar a precisão do método SCS-CN para a área em estudo. Realizou-se uma simulação hidrológica para a bacia visando o balanço hídrico de reservatórios, e utilizando o método do Número da Curva (CN) para a estimativa do escoamento superficial. Como dados de entrada, foram utilizadas informações da bacia hidrográfica do açude, que foi subdividida em áreas de drenagem de até 800 km<sup>2</sup> que possuem mesma cobertura e tipo de solo; a distribuição espacial dos postos pluviométricos com dados de precipitações diárias e a estação meteorológica com a estimativa da evaporação diária; os dados do açude, como as relações de cota-área-volume, nível, a vazão liberada diariamente, e os volumes armazenados diários. O modelo foi testado comparando-se os volumes afluentes observados com os valores de vazões modeladas pelo método CN, em escala diária. A eficiência do modelo foi obtida através do coeficiente de Nash-Sutcliffe, obtendo um valor de -1,76. Portanto, concluiu-se que o modelo apresentou um fraco desempenho, sugerindo uma superestimativa do escoamento superficial a partir da simulação utilizando o método SCS-CN de chuva-deflúvio, tal fato ocorreu devido as inúmeras incertezas de dados.

**Palavras-chave:** Balanço hídrico, vazão afluente, coeficiente de Nash-Sutcliffe.

## ABSTRACT

GOBIRA, Ana Karine Martins, Universidade Federal do Ceará. July 2017. **Hydrological Simulation using the Curve Number method (SCS-CN) in the Basin of the Edson Queiroz Reservoir, Santa Quitéria, Ceará.** Adviser: Carlos Alexandre Gomes Costa.

The Hydrological models are tools which can help managers to take decisions, allowing them to analyze the simulation results. Simulating the hydrological behavior in watersheds is rather important for water resources management due to the possibility of river-system forecasting. The basin of the Edson Queiroz Reservoir is located in the Brazilian semiarid, on the Ceará State and has an area of 1.777 km<sup>2</sup>. This reservoir is the main source of water supply to the Town of Santa Quitéria (43.000 inhabitants). The aim of this report was to evaluate the accuracy of the SCS-CN method in this basin. A simulation of the water balance in the reservoir was made using the Curve Number (CN) method. The method's input data were obtained in gauge stations in the region (daily rainfall) and the basin was divided in four regions of association between soil and land use. The results of the simulation were compared with the data of the reservoir's water balance in the period of 1999-2016, concerning the daily discharge, evaporation, water level and the shape of the reservoir. The Nash-Sutcliffe Efficiency for the daily discharge in rainy days – when there's runoff and consequent water inlet in the reservoir – was -1,76. This value suggests that the model presented a poor capacity to predict runoff in the watershed; further analysis showed a leaning to overestimate the discharge. The possible source for this is the high amount of uncertainties in semiarid regions, corroborating with recent studies carried in this region.

**Key words:** Water Balance, inlet discharge, Nash-Sutcliffe Efficiency

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico.....	16
Figura 2 - Diagrama hidrológico de um evento chuvoso em parte de uma bacia.....	20
Figura 3 - Relação do escoamento superficial e da chuva do Método CN (SCS).....	25
Figura 4 - Variação do parâmetro CN com a escala da bacia hidrográfica.....	26
Figura 5 - Localização da bacia do Açude Edson Queiroz.....	30
Figura 6 - Distribuição dos tipos de solos predominantes na bacia do açude Edson Queiroz.....	32
Figura 7 - Mapa de uso e ocupação de solos na bacia do açude Edson Queiroz.....	34
Figura 8 - Fluxograma do método CN para a obtenção do escoamento superficial.....	36
Figura 9 - Hidrograma de vazão afluente observada x vazão afluente calculada.....	47
Figura 10 - Dados de Q calculada comparativamente com os dados observados.....	48
Figura 11 - Dados de Q calculada e vazões observadas para Q até 50 m <sup>3</sup> /s.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade máxima do reservatório de interceptação.....	28
Tabela 2 - Classificação de uso e ocupação do solo para a bacia do Açude Edson Queiroz.....	34
Tabela 3 - Estações inventariadas para o estudo.....	35
Tabela 4 - Classificação do grupo AMC com base na precipitação ocorrida nos últimos 5 dias para a estimativa das condições de umidade antecedente.....	37
Tabela 5 - CN para diferentes tipos e usos do solo.....	38
Tabela 6 - Coeficiente de escoamento médio para cada área de influência.....	42
Tabela 7 - Valores de CN e suas respectivas áreas de ocorrência no posto Açude Edson Queiroz.....	43
Tabela 8 - Valores de CN e as respectivas áreas de ocorrência no Posto Raimundo Martins.....	43
Tabela 9 - Valores de CN e as respectivas áreas de ocorrência no Santa Quitéria.....	44
Tabela 10 - Valores de CN e as respectivas áreas de ocorrência no Posto Santa Rita dos Galdinos.....	45
Tabela 11 - Valores de armazenamento inicial (S) e o número de curva CN médio calibrado.....	46

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Ciclo hidrológico.....	16
2.2	Bacias hidrográficas.....	18
2.3	Balanço hídrico em um açude.....	20
2.4	Modelo chuva-deflúvio.....	22
2.5	Modelo SCS-CN de chuva deflúvio.....	24
2.6	Parâmetros do modelo SCS-CN de chuva-deflúvio.....	26
3	ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.1	Caracterização geral da área de estudo.....	30
3.2	Clima.....	31
3.3	Vegetação.....	31
3.4	Caracterização do solo da região.....	32
3.5	Uso e ocupação do solo.....	33
4	METODOLOGIA.....	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1	Estimativa do coeficiente de escoamento pelo método SCS-CN.....	42
5.2	Relação chuva-deflúvio na bacia hidrográfica do Açude Edson Queiroz.....	46
6	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

## 1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista agrícola, a simulação hidrológica representa importante ferramenta no contexto de gestão dos recursos hídricos. A avaliação dos impactos nos recursos hídricos produzidos por diferentes usos agrícolas do solo consiste em uma das aplicações mais relevantes dos modelos hidrológicos, fundamental para o planejamento ambiental da bacia hidrográfica (VIOLA et al., 2009).

Uma importante tarefa da hidrologia é quantificar as vazões resultantes da chuva precipitada sobre uma bacia hidrográfica, ou seja, quantificação do processo chuva-deflúvio (COELHO, 2006). A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas é fundamental para a compreensão do funcionamento do balanço hídrico e os processos que controlam o movimento da água. Além disso, o uso da bacia como unidade hidrológica está diretamente ligada ao fato de que suas características regem os processos de formação do escoamento (VENDRUSCOLO, 2005).

O conhecimento do regime dos cursos d'água permite prever os comportamentos futuros ocasionados por alterações de ocupação do solo, impactos do clima, aproveitamento de áreas para a irrigação (SARTORI, 2004), para tais finalidades, faz-se necessário o levantamento de dados de séries históricas de vazão. Contudo, sabe-se que a maioria das bacias hidrográficas, no semiárido nordestino, não apresenta séries extensas de vazões, o qual exige a simulação do escoamento por meio de modelos de simulação hidrológica (SILVEIRA; TUCCI; SILVEIRA, 1998). Ainda que os dados abranjam um longo período e sejam confiáveis, segundo Guillot (1993), as funções de distribuição ajustadas somente às séries de vazões não devem ser extrapoladas. O autor explica que a não linearidade existente na relação chuva-deflúvio gera uma alta assimetria, equivalente a uma divisão na distribuição de vazões.

Frente a essa dificuldade e baseando-se no fato de que os postos pluviométricos são, em geral, mais numerosos, com séries de precipitações longas, densas e mais facilmente regionalizáveis que as fluviométricas, destacam-se os modelos hidrológicos que transformam a chuva em vazão (MOTA, 2016).

Os modelos hidrológicos têm se tornado um meio de planejar e decidir, além das clássicas funções de avaliações hidrológicas e, como tal, devem ser estruturados de maneira simples, permitindo sua utilização por inúmeros usuários (NETO et al., 2012). Um dos principais modelos de resposta hidrológica é do método Curva Número (SCS-CN), objeto de estudo desse trabalho.

O modelo do SCS-CN foi desenvolvido em 1950 pelo Serviço de Conservação dos Solos (SCS -USDA), atualmente Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) (JACOBS; SRINIVASAN, 2005). Em sua aplicação, transformam-se chuvas em vazão através do cálculo de volume de chuva efetiva. Este modelo hidrológico é bastante simples e largamente utilizado (PONCE; HAWKINS, 1996), em que o valor de CN, principal parâmetro do modelo, é dependente da classificação hidrológica do solo, das condições de umidade antecedentes e do uso e cobertura do solo (CUNHA et al., 2015). A determinação de um valor CN representativo para uma bacia hidrográfica é um ponto crucial para obter êxito na estimativa do escoamento superficial direto (ARAÚJO NETO, 2012)

Apesar da simplicidade, praticidade e consequente aceitação do método, existem diversas críticas e dúvidas em relação à sua generalização. É comum sua aplicação em bacias cujas características diferem daquelas onde foram executados os estudos que deram origem ao modelo, e também para finalidades contrárias da proposta original. Tais observações e questionamentos são manifestos por pesquisadores como Chow, Maidment e Mays (1988), Garen e Moore (2005), Ponce e Hawkins (1996), Stewart, Canfield e Hawkins (2011) e Tedela et al. (2012). Embora o método do Número de Curva (CN) seja utilizado em todo o mundo, apenas nas últimas décadas é que passou a ser empregado com maior frequência no Brasil (MELLO et al. 2003).

O método CN fundamenta-se no conceito de que a lâmina de escoamento superficial produzida num dado evento é uma função da altura total da lâmina precipitada e das abstrações iniciais, uma vez que representam as perdas que ocorrem, principalmente, devido à infiltração, à interceptação vegetal e à retenção em depressões do terreno (TYAGI et al., 2008). Os valores de CN são obtidos para cada uso e ocupação do solo em tabela padrão do SCS, no entanto, para alguns usos da terra o valor de CN não está disponível, assim devendo ser estimado (ARAÚJO NETO et al., 2012)

Objetivou-se com esse estudo avaliar a acurácia do método SCS - CN na geração de informações de variáveis hidrológicas envolvidas no processo de chuva-deflúvio para a Bacia Hidrográfica do Açude Edson Queiroz.

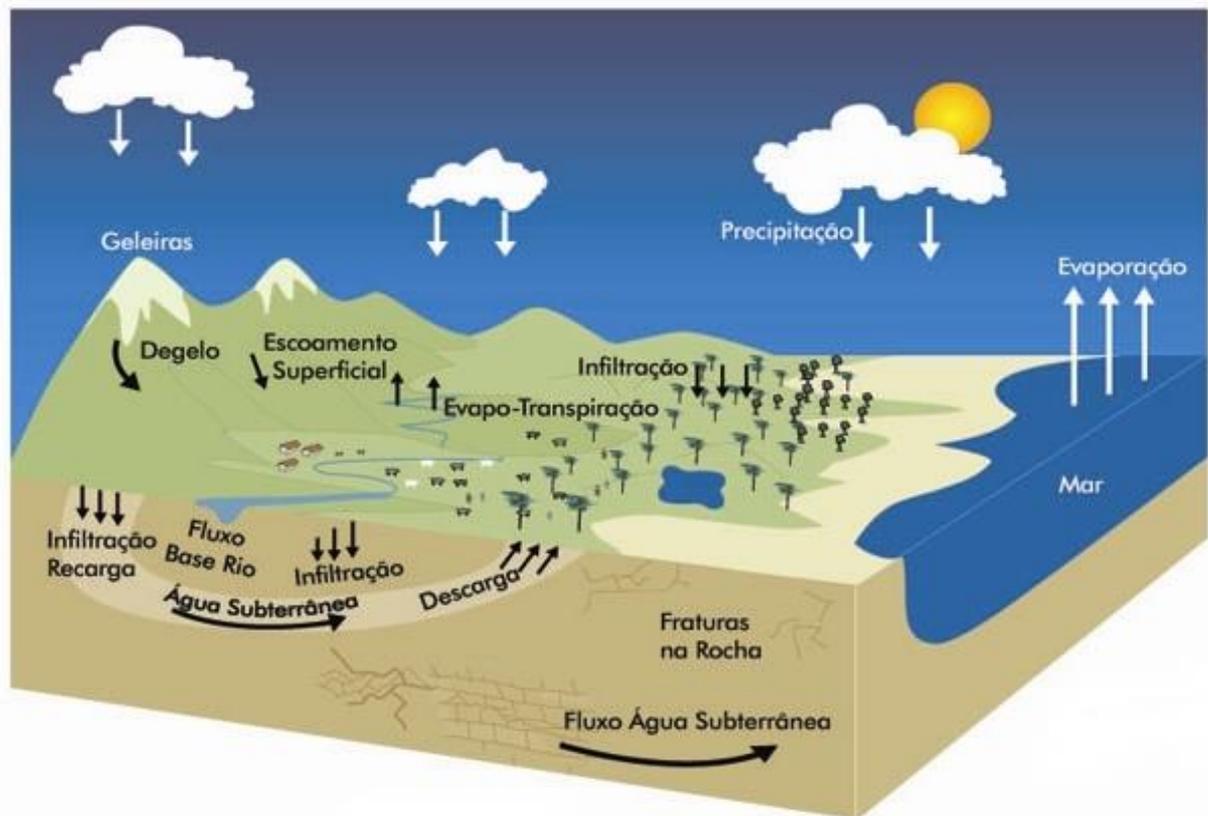
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção serão apresentados, de maneira sucinta, termos, conceitos e outros tópicos julgados de importância fundamental para um melhor entendimento da temática abordada.

### 2.1 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico (Figura 1) corresponde à dinâmica da água no meio ambiente, em seus diferentes estados físicos, compreendendo os diferentes ambientes do globo terrestre, tais como os oceanos, o solo, leitos naturais de escoamento, atmosfera e outros (MELLO; SILVA, 2013). A radiação solar é a fonte básica de energia que aciona e torna este processo hidrológico possível (MACHADO, 2005). O ciclo hidrológico não tem começo nem fim, e seus diversos processos ocorrem de forma contínua (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Figura 1 - Ciclo hidrológico



Fonte: [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br) (2017).

De acordo com Villela e Mattos (1975), inicia-se a descrição do ciclo hidrológico pela existência do vapor de água na atmosfera. O vapor resultante da evaporação da água dos oceanos é transportado pelo movimento das massas de ar. Este vapor, em determinadas

condições, condensa-se formando as nuvens. Quando gotículas de água, formadas por condensação, atingem a atmosfera, precipitam-se na terra ou oceanos.

A princípio a água, aos poucos, preencherá as depressões do terreno, e em seguida vai procurando os canais naturais, assim formando os cursos dos rios, e finalmente dirigem-se para os grandes volumes de água constituídos pelos mares, lagos e oceanos ou evaporando-se para a atmosfera à medida em que o ciclo hidrológico continua (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Parte da precipitação não atinge o solo, seja devido à evaporação durante a trajetória até a superfície, seja porque fica retida pela vegetação. A precipitação que atinge o solo, nele se infiltra, parte escoando sobre a superfície e parte evapora diretamente ou por meio das plantas, através da evapotranspiração. A água que infiltra no solo pode percolar mais profundamente, recarregando as águas subterrâneas, e posteriormente emergindo em nascentes ou infiltrando em rios (PINTO et al., 2010). A parcela da chuva que gera escoamento superficial é responsável pelo transporte de sedimentos, o que pode causar sérios danos a uma bacia hidrográfica (MELLO; SILVA, 2013).

Quando a intensidade da chuva supera a capacidade de infiltração do solo, a água escoando superficialmente (PINTO et al., 2010). Costa (2007) observou que esse processo prevalece na Bacia experimental de Aiuaba, no semiárido cearense. A capacidade de infiltração depende da umidade e da textura do solo, logo, se a precipitação ocorrer em áreas impermeáveis, o escoamento superficial será direto, não havendo infiltração (MALVEIRA, 2009).

Aquino et al. (2008), comentam que diferentes tipos de solos podem apresentar uma susceptibilidade diferenciada quanto ao escoamento superficial, mesmo em condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo realizadas. Tais diferenças ocorrem devido às propriedades do solo.

Rodrigues et al. (2013), observaram que a lâmina escoada em uma microbacia raleada foi 132% maior em relação à microbacia preservada. Em eventos subsequentes foi observada uma inversão nesses resultados, já que a microbacia raleada passou a apresentar uma maior umidade do solo e menor lâmina escoada, devido ao crescimento de vegetação herbácea pós-raleamento do que a microbacia preservada.

De todas as fases básicas do ciclo hidrológico, segundo Villela e Mattos (1975), a do escoamento superficial é a mais estudada, pois trata da ocorrência e transporte de água na superfície terrestre, visto que a grande maioria dos estudos hidrológicos possuem relação direta ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento.

O ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada da água e, em nível global, os volumes evaporados em um determinado lugar do planeta não precipitam necessariamente no mesmo local, porque há movimentos contínuos, com dinâmicas diferentes na atmosfera e na superfície terrestre. Em uma escala regional podem ocorrer subciclos. A água precipitada que escoar em um rio pode evaporar, condensar e novamente precipitar antes de retornar ao oceano (COLLISCHONN; TASSI, 2008). Bier (2013) comenta que para áreas de drenagem menores, como em uma bacia hidrográfica, o ciclo hidrológico pode ser caracterizado como aberto ao nível local.

## **2.2 Bacias hidrográficas**

A bacia hidrográfica equivale a uma área de captação natural dos fluxos de água originados da precipitação, que faz convergir os escoamentos para seu exutório (referência do conceito de BH). Aragão e Oliveira (2011) destacam que uma bacia hidrográfica é, também, denominada de bacia de captação, ou pode ser bacia de drenagem quando atua como uma área que está sendo drenada pelos cursos d'água.

Conhecer as características físicas de uma bacia é de grande importância para entender seu comportamento hidrológico. Existe uma relação entre o regime hidrológico e as características físicas de uma bacia hidrográfica, o que torna importante o conhecimento destes elementos, pois ao estabelecerem-se relações entre eles e dados hidrológicos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos de outras áreas (VILLELA; MATTOS, 1975).

Silva et al. (2008) comentam que a hidrologia no contexto de bacias hidrográficas busca descrever e modelar diferentes processos que interagem sob as condições ambientais variáveis no tempo e espaço. Portanto, a simulação hidrológica é significativa para prever as respostas hidrológicas das unidades ambientais a um determinado evento de precipitação (COLLISCHONN; TUCCI, 2003).

Para Mello (2003) o escoamento em uma bacia hidrográfica poderá ser alterado devido a mudanças inadequadas, como desmatamentos, compactação do solo, entre outros. Em termos gerais, conhecer tais características é de grande importância para entender seu comportamento hidrológico.

Diversos estudos sobre o processo de escoamento superficial têm sido conduzidos em bacias hidrográficas no semiárido brasileiro. Um dos primeiros estudos realizado no semiárido foi desenvolvido pela SUDENE/ORSTOM, que monitorou a hidrologia das bacias experimentais do Nordeste, como por exemplo as bacias de Juatama – CE, Tauá – CE, Sumé – PB, Riacho do Navio – PE, Ibipeba – BA. Outro estudo desenvolvido no semiárido brasileiro

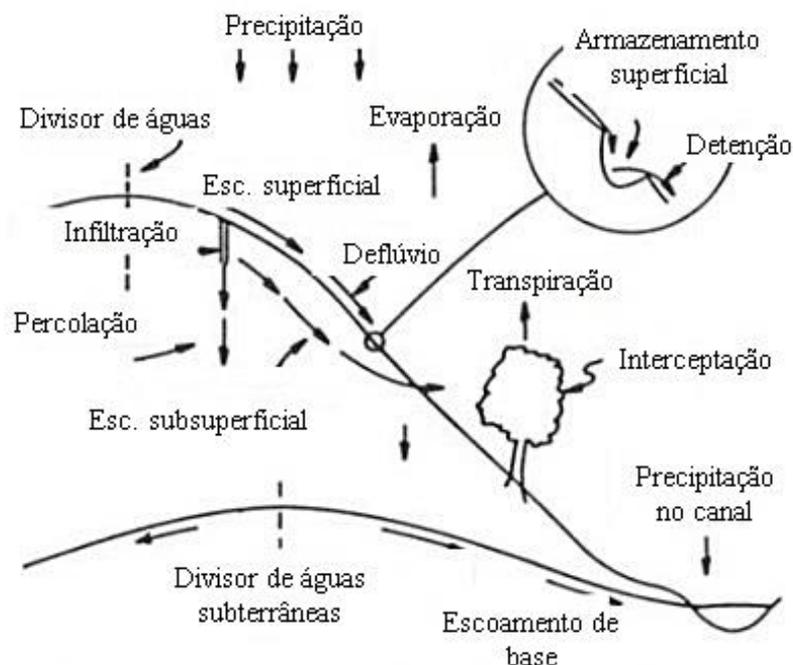
foi o estabelecimento do projeto FINEP/IBESA que implantou uma rede de monitoramento hidrosedimentológica na região Nordeste do Brasil (CADIER, 1994).

Em bacias não monitoradas há a necessidade de realizar previsões hidrológicas (ANDRADE, 1997). Portanto, o comparativo hidrológico pode ser uma ferramenta útil no preenchimento de falhas, porém, quando conduzido erroneamente pode induzir a graves erros na transferência de informações, principalmente na parametrização dos modelos hidrológicos (PEEL; MCMAHON; FINLAYSON, 2004).

Mugabe et al. (2007) identificaram diferenças entre bacias ao compararem as respostas hidrológicas de duas microbacias hidrográficas em clima semiárido no Sul da África, onde observaram que apesar da similaridade climática entre ambas, as respostas hidrológicas são bastante versáteis, dependendo principalmente das características de distribuição pluviométrica. Araújo e Piedra (2009), observaram para duas bacias tropicais que, apesar da similaridade de algumas variáveis como área, relevo, evaporação e temperatura, as variáveis hidrológicas divergiram consideravelmente.

Dentre as regiões hidrológicas de importância prática, a bacia hidrográfica vem sendo reconhecida como um sistema excessivamente complexo, em que uma gota d'água pode seguir em um elevado número de caminhos entre a precipitação e a superfície (COSTA, 2007). A Figura 2 mostra os processos hidrológicos ocorridos durante um evento de precipitação em uma porção de uma bacia hidrográfica.

Figura 2 – Diagrama hidrológico de um evento chuvoso em parte de uma bacia



Fonte: Haan et al. (1993) adaptada por Costa (2007).

É sabido que todos os processos apresentados na Figura 2 possuem um papel central na hidrologia. Entretanto, a precipitação, a infiltração, o escoamento superficial, o armazenamento superficial, a detenção superficial e o deflúvio dos rios são os de maior valor, visto que são fundamentais no processo chuva-deflúvio (HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993).

### **2.3 Balanço hídrico em um açude**

Estudar e compreender a distribuição da água no solo facilita a tomada de decisões no uso integrado dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. Os estudos hidrológicos utilizam a bacia hidrográfica como uma unidade territorial, onde são realizadas análises, por meio de modelos matemático, simulando os processos envolvidos no ciclo hidrológico (FACCO, 2008).

Para Facco (2008), o balanço hídrico visa entender um sistema e buscar respostas para diferentes entradas, ou seja, é uma representação do comportamento do sistema. Tal sistema representa o comportamento de um processo hidrológico ou um conjunto de processos, em um dado instante ou num intervalo de tempo (COELHO, 2006).

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas e topográficas, e pelo clima. Os principais fatores climáticos são a precipitação, principal input do balanço hidrológico de uma região, e a evaporação, responsável direta pela redução do escoamento superficial (VILLELA; MATTOS, 1975).

É através do balanço hídrico que a disponibilidade hídrica de uma bacia pode ser avaliada, por meio de análise de vazões mínimas observadas no período de estiagem, refletindo o potencial natural disponível para o abastecimento de água. Já estimar vazão máxima é importante para o controle de inundações e dimensionamento das obras hidráulicas, enquanto que a vazão média também permite caracterizar o potencial energético da bacia (MORAES, 2007).

Entre os componentes do balanço hídrico o escoamento superficial, que frequentemente é desprezado em estudos, possui grande importância, sobretudo em regiões semiáridas nas quais é comum a ocorrência de longos períodos de seca seguidos de curtos períodos chuvosos e que apresentam, na maioria das vezes, eventos de precipitação com alta intensidade (SOUZA et al., 2015).

A modelagem do balanço hídrico tem sido realizada para atender as mais diversas necessidades de estudos hidrológicos e em vários níveis de complexidade, desde os mais simples, desenvolvidos para regiões de clima temperado, como para os mais complexos, obtidos em regiões de clima árido e semiárido (XU; SINGH, 1998).

Para o completo entendimento e utilização do balanço hídrico, fica clara a necessidade de medir uma série de variáveis hidrológicas e meteorológicas, assim, permitindo o conhecimento das mesmas, possibilitando a aplicação de modelos matemáticos que permitem prever ou estimar estas variáveis (COELHO, 2006).

A cobertura vegetal tem grande importância quando se refere ao balanço hídrico de um dado local, pois pode alterar o mecanismo de entrada de água na superfície do solo (IZIDIO et al., 2013). A forma da cobertura vegetal e a área foliar são fatores-chave na determinação da capacidade de armazenamento de água no dossel, afetando a interceptação das chuvas e os demais componentes do balanço hídrico (FERREIRA et al., 2005; MOURA et al., 2009). A falta de informação de interceptação da precipitação pela vegetação pode induzir a erros nas medidas reais das quantidades de água que contribuirão para a reposição da umidade disponível no solo, comprometendo o cálculo do balanço hídrico (VIEIRA; PALMIER, 2006).

Segundo Tucci e Beltrame (2004), algumas fontes de erro decorrem da dificuldade da obtenção precisa dos dados, como por exemplo, a vazão afluente para um lago e a precipitação sobre o lago.

Diversos trabalhos foram conduzidos empregando o conceito de balanço hídrico simplificado, nas mais diversas regiões do planeta (FILL et al., 2005; MONTZKA et al., 2008; XU; SINGH, 1998), sendo que Xu e Singh (1998) estudaram com mais rigor os tipos de balanço hídrico e suas aplicações em estudos envolvendo os recursos hídricos.

## **2.4 Modelo chuva-deflúvio**

A precipitação é uma importante informação utilizada como entrada em modelos chuva-vazão, que como parte essencial do ciclo hidrológico, tem características próprias de ocorrência quanto a localização, intensidade e persistência. Grandes volumes de água em curtos períodos de tempo provocam grandes escoamentos superficiais, logo é importante conhecer tanto a quantidade como a intensidade das chuvas (MOREIRA; MINE; PEREIRA FILHO, 2007).

Modelos hidrológicos são representações de fluxo da água e seus constituintes expressos matematicamente de forma a produzir uma resposta em função de condições conhecidas ou assumidas, viabilizando a simulação de processos físicos em dimensões temporais, sendo bastante utilizados para a obtenção de respostas rápidas e precisas (PULLAR; SPRINGER, 2000).

Quanto à sua estrutura, Pinheiro e Naghettini (2010) comentam que os modelos hidrológicos podem ser empíricos, fisicamente fundamentados, ou puramente conceituais.

Nesse contexto, os modelos empíricos são aqueles que utilizam relações baseadas em observações, os modelos fisicamente fundamentados se baseiam nas Equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia, parâmetros estes que estão próximos das grandezas que governam a física do sistema. Por fim, os modelos ditos conceituais, relacionam toda a característica do processo hidrológico, porém mantendo empirismo nas equações envolvidas.

Os modelos conceituais, apesar de ter diversas aplicações na engenharia, não são capazes de simular uma situação diferente daquelas para qual eles foram calibrados. Portanto, simular cenários ou planejar a ocupação de bacias hidrográficas e avaliar estes riscos, gerou uma necessidade de maior descrição da bacia e de seus processos. A partir daí uma nova proposta de modelos chuva-deflúvio foi criada (MACHADO, 2005).

A variabilidade espaço-temporal nas características da área de estudo, tais como o relevo, clima, uso da terra e o solo, afeta diretamente a resposta hidrológica do sistema físico, o que implica em limitações à aplicação de modelos hidrológicos (MACHADO; VETTORAZZI; CRUCIANI, 2003).

Um dos modelos mais importantes na simulação hidrológica é o que simula a conversão da precipitação pluviométrica em vazão. Estes têm por finalidade suprir a carência de informações a respeito do comportamento físico de bacias hidrográficas, e atuam com base no conceito de balanço hídrico, sendo capazes de estimar a saída de água da bacia, sob forma de vazão na seção exutória da bacia (DI BELLO, 2005).

O modelo hidrológico de chuva-deflúvio se destaca por ser uma ferramenta de abordagem simplificada cujo objetivo é avaliar a resposta, em termos de vazão, de uma determinada bacia hidrográfica em função de uma precipitação qualquer. No entanto, tais simplificações matemáticas podem acarretar em erros grosseiros, no caso de a bacia em estudo apresentar muitas heterogeneidades (ALEXANDRE; SOUZA FILHO; CAMPOS, 2013).

Em modelos hidrológicos de chuva-deflúvio, o parâmetro precipitação média de uma bacia hidrográfica serve de entrada ao modelo. Para a obtenção da precipitação média numa bacia é muito comum utilizar o método de Thiessen, pois este considera a não-uniformidade da distribuição espacial dos postos (MACHADO, 2005).

Em termos gerais, Machado (2005) e Vendruscolo (2005) citam que os modelos de chuva-deflúvio foram desenvolvidos para estudar o comportamento dos fenômenos físicos hidrológicos, analisar a consistência e preenchimento de falhas nos dados, previsão de vazão em tempo real, previsão de cenários de planejamento, os efeitos que resultam da modificação do uso do solo e para dimensionamento de obras hidráulicas.

Logo, o desafio desse modelo hidrológico é, a partir do conhecimento sobre o ciclo hidrológico, obter os volumes escoados a partir da precipitação num dado momento.

## **2.5 Modelo SCS-CN de chuva-deflúvio**

Toda a metodologia do SCS–CN se baseia no conceito de que a lâmina de escoamento superficial produzida em um dado evento é função da altura total da lâmina precipitada e de um parâmetro, chamado de Curva Número (CN), que representa as perdas que ocorrem, principalmente, por infiltração, interceptação vegetal e à retenção em depressões do solo (TYAGI et al., 2008). Em termos gerais, Zhan e Huang (2004) afirmam que o modelo hidrológico SCS-CN determina a quantidade de chuva que infiltra no solo ou aquífero, bem como a quantidade de chuva que esco superficialmente numa dada região em função do uso e ocupação do solo e do grupo hidrológico dos solos.

Cunha et al. (2015) comentam que o método do Número da Curva (CN), desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos (Soil Conservation Service – SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA), é largamente utilizado na estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas não monitoradas.

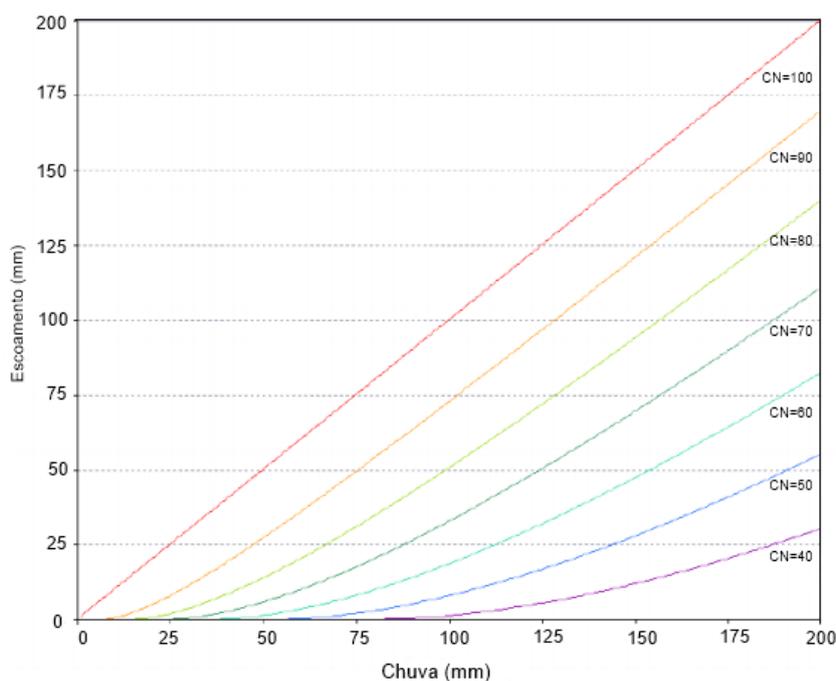
Este método foi desenvolvido considerando pequenas bacias hidrográficas, sendo que em áreas superiores a 250 km<sup>2</sup> se faz necessário a subdivisão destas (PONCE; HAWKINS, 1996). Há diversos trabalhos onde este método tem sido aplicado para bacias maiores que 250 km<sup>2</sup>, como por exemplo em Jacobs e Srinivasan (2005), Mishra et al. (2008) e Jeon, Lim e Engel (2014).

O método CN de escoamento superficial permite estimar a precipitação excedente resultante de uma determinada chuva para uma área de drenagem conhecida (SARTORI, 2004). Primordialmente foi desenvolvido para áreas rurais, mas com o seu aprimoramento, o método SCS-CN se difundiu, passou a ter credibilidade, sendo executado em áreas urbanas de diversos países (GONÇALVES, 2007).

A principal razão da popularidade do uso do método SCS–CN em estudos hidrológicos é sua simplicidade, requerendo apenas quatro características de uma bacia hidrográfica, sendo elas, o uso e cobertura do solo, as condições hidrológicas, tipos de solo e condições da cobertura vegetal, e as condições de umidade antecedente (AMC) (PONCE; HAWKINS, 1996). Apesar da grande aceitação deste método, existem diversas críticas e dúvidas relacionadas à sua generalização (CUNHA et al., 2015).

Para Gonçalves (2007), os valores do CN retratam as condições do solo, variando desde uma cobertura muito permeável (CN = 0) até uma cobertura totalmente impermeável (CN = 100). Contudo, é observado a existência de condições teóricas extremas da capacidade de retenção máxima dos solos (S), ora tendendo ao infinito, ora sendo nulo (Figura 3).

Figura 3 – Relação do escoamento superficial e da chuva do Método CN (SCS)



Fonte: Adaptado de Castro (2013).

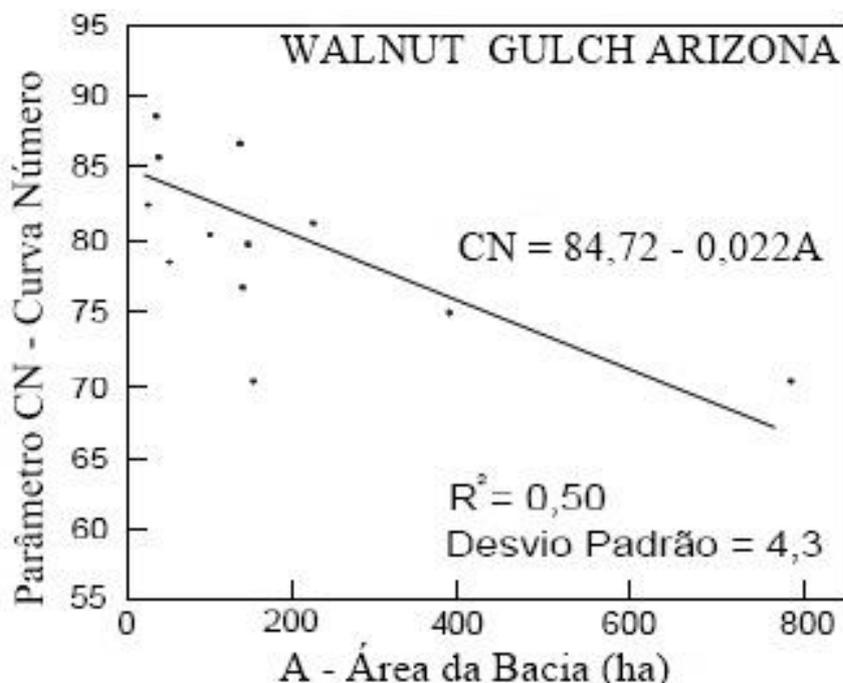
A versatilidade nos valores de CN, mostrada na Figura 3, é vinculada a intensidade e duração da chuva, precipitação total, condições de umidade do solo e densidade de cobertura, tais causas de variabilidade são chamadas de umidade antecedente (AMC), sendo divididas em três classes, onde I é para condições de seca, II condições intermediárias e III para as condições de umidade (CASTRO, 2013).

Alguns estudos realizados demonstraram que a escala de uma bacia hidrográfica afeta diretamente os parâmetros relativos aos processos hidrológicos. Soares et al. (2014) identificaram que o método do CN constitui uma boa ferramenta para detectar áreas frágeis e limitantes de uma bacia hidrográfica quanto a evolução do uso e ocupação do solo, através de uma análise temporal. Tal método permitiu o conhecimento de áreas mais ou menos suscetíveis às formas de modificações antrópicas.

Em seu estudo, Simanton et al. (1996), encontraram uma relação entre o CN e a área de uma bacia, concluindo que o parâmetro CN diminui com o aumento da área da bacia

(Figura 4), razão essa atribuída a variabilidade espacial da precipitação e das perdas por infiltração em canais arenosos presentes nas grandes bacias hidrográficas.

Figura 4 – Variação do parâmetro CN com uma escala da bacia hidrográfica



Fonte: Simanton et al., (1996).

Vários estudos foram realizados utilizando o método do número da curva para avaliar o escoamento superficial. Aquino et al. (2008) observaram em seu estudo que os maiores valores de CN foram registrados na parte baixa de uma microbacia do semiárido cearense, tal comportamento foi explicado por ser uma região onde se praticam atividades agrícolas com mais intensidade e sem nenhuma prática conservacionista de uso e manejo do solo. Assim, concluíram que a capacidade de retenção de água é inversamente proporcional ao escoamento, pois está diretamente ligada ao fator manejo e cobertura vegetal.

## 2.6 Parâmetros do modelo SCS-CN de chuva-deflúvio

O processo de modelagem hidrológica SCS-CN de chuva-deflúvio requer informações de uso do solo, podendo estes serem obtidos por sensoriamento remoto, bem como dados sobre a vegetação. A aplicação do modelo CN em bacias hidrográficas no Brasil tem se tornado bastante comum, no entanto sua precisão é questionável, principalmente em bacias onde o escoamento é temporário e as respostas hidrológicas possuem comportamento diferenciado (MELLO; LIMA; SILVA, 2007).

O processo de chuva-deflúvio depende de fatores como a intensidade, duração e

frequência da precipitação, a geologia, a permeabilidade do terreno, a condição de umidade antecedente do solo, o tipo de cobertura vegetal, a área da bacia de drenagem, a distribuição espaço-temporal da precipitação, a geometria dos rios e o declive dos terrenos (CANTÓN et al., 2001; KANG et al., 2001; CASTILLO et al., 2003). Dos fatores listados, a cobertura vegetal é a variável de maior peso na resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica (MUÑOZ-ROBLES et al., 2011). Um solo exposto se torna mais vulnerável a ação direta das gotas das chuvas, bem como, ao livre movimento da água na superfície, diminuindo o tempo de oportunidade de infiltração e conseqüentemente produzindo uma maior geração de escoamento superficial (ARAÚJO NETO, 2012).

Estudos realizados por Castillo et al. (2003), avaliando o papel da umidade antecedente na resposta do escoamento de bacias hidrográficas com o uso de simulações, mostraram que a resposta hidrológica após eventos com alta intensidade independe do teor inicial de água no solo. Por outro lado, a umidade antecedente do solo é um fator importante que controla o escoamento durante os eventos de intensidades média e baixa.

Ceballos e Schnabel (1998) estudaram o comportamento hidrológico em uma microbacia no semiárido da Espanha, analisando as relações entre a precipitação, a umidade do solo e o escoamento superficial. Os resultados demonstraram uma resposta hidrológica complexa, devido ao papel dos diversos fatores que influenciam no escoamento: características da precipitação, umidade do solo etc. Logo, verificaram que o escoamento depende muito das condições de umidade antecedente, e não pode ser explicado apenas pelas precipitações totais, depende também da sua distribuição temporal.

Quanto aos estudos realizados no semiárido brasileiro, Figueiredo (2011) avaliou as condições de início do escoamento superficial em uma bacia experimental, a qual mostrou que as respostas hidrológicas em bacias hidrográficas são realmente complexas. Este autor verificou, com base apenas na pluviosidade total, que não é possível avaliar se ocorrerá ou não escoamento, como em estudos realizados por Ceballos e Schnabel (1998) e Cantón et al. (2001).

A retirada do dossel vegetal torna a superfície do solo mais exposta à ação direta das gotas das chuvas, bem como, ao livre movimento da água na superfície, assim diminuindo o tempo de infiltração e conseqüentemente produzindo uma maior geração de escoamento superficial (CASERMEIRO et al., 2004; BARTLEY et al., 2006).

Gomes et al. (2012) mostraram a influência da cobertura vegetal na umidade antecedente do solo, e analisaram a variação da umidade entre duas microbacias com diferentes manejos, localizadas no município de Iguatu. Verificaram a influência do manejo de raleamento da mata nativa (raleada) em comparação com outra com manejo de conservação da mata nativa

(natural), sendo que, o manejo do raleamento mostrou maior conservação da umidade antecedente do solo, em mais de 89% dos eventos estudados, em comparação com o manejo natural.

Já Kang et al. (2001) pesquisaram em escala de lotes e microbacias chinesas o efeito do uso da terra sobre processos chuva-deflúvio, bem como diferenças nas respostas de cada microbacia a diferentes tratamentos aplicados. Em seu estudo, o escoamento foi significativamente reduzido em áreas com cobertura vegetal, em comparação com ambientes de solo exposto, com coeficiente de escoamento variando de 1,4 a 62,3%.

Na agricultura o termo precipitação efetiva é de grande relevância para o estudo da precipitação, visto que esta é aquela parcela que realmente contribuirá com a água disponível no solo (SAMPAIO et al., 2000).

Barbosa, Teixeira e Gondim (2005), comentam que a lâmina de precipitação efetiva (Pef) acondicionada no solo durante um dado período dependerá da ocorrência, duração e intensidade da precipitação, bem como do total precipitado, das circunstâncias da superfície do solo e da capacidade que o solo tem de armazenar água, em condições da ocorrência de chuvas.

Nos últimos anos diversos trabalhos foram desenvolvidos com a finalidade de estimar a precipitação efetiva em áreas agrícolas, dentre estas aponta-se a metodologia desenvolvida pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (USDA-SCS), por ser a mais utilizada (RODRIGUES; PRUSKI; SILVA, 2003).

A interceptação é parte do ciclo hidrológico onde uma parcela da água precipitada é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida é evaporada para a atmosfera (ARCOVA; CICCIO; ROCHA, 2003). A detenção é uma outra forma de interceptar a água proveniente da chuva, através das depressões existentes ao logo de toda a bacia.

Em um solo arenoso, a água precipitada infiltrará rapidamente, retornando, depois, ao fluxo normal da bacia, no caso de um solo argiloso, a infiltração será lenta e a água retida nas depressões reduzirá a vazão média da bacia (MACHADO, 2005). Machado (2005) menciona que a interceptação se dá em função do tipo de cobertura vegetal (Tabela 1).

Tabela 1 – Capacidade máxima do reservatório de interceptação

<b>Cobertura</b>	<b>Capacidade máxima (mm)</b>
Campo, prado	2,50
Floresta ou mato	3,75

Floresta ou mato denso	5,00
------------------------	------

Fonte: Adaptado de Machado (2005).

A infiltração é um processo complexo, mesmo que a superfície do solo seja homogênea e com umidade uniforme (PRUSKI; RODRIGUES; SILVA, 2001). Os parâmetros de textura do solo e a baixa declividade dos terrenos limitam as condições de escoamento superficial, favorecendo a infiltração em solos arenosos (SANTOS et al. 2012). Barros et al. (2014), concluíram que a infiltração de água no solo através da Curva Número, não apresentou correlações com as precipitações monitoradas, o que indicou uma superestimativa dos valores de infiltração.

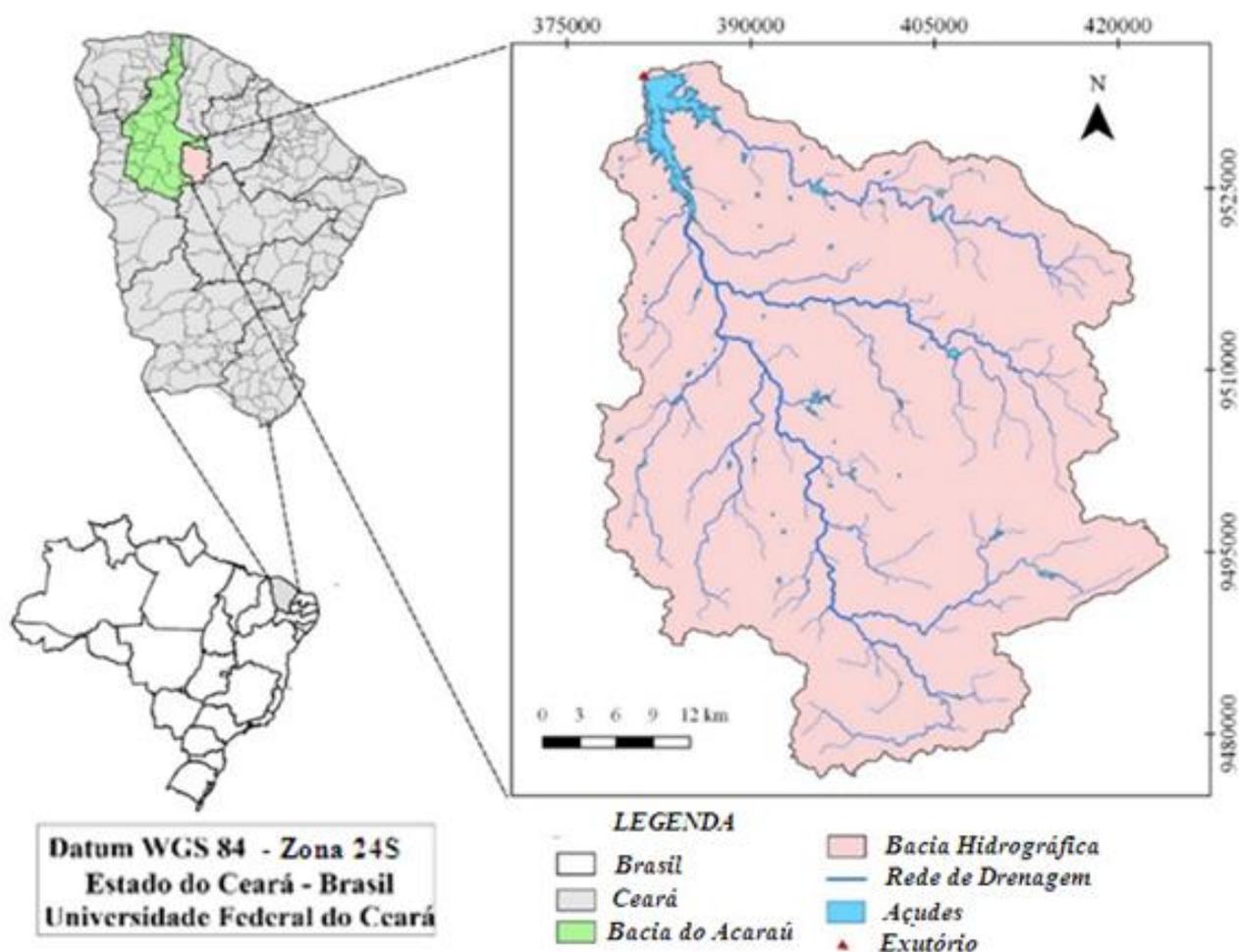
De acordo com Machado (2005), as taxas de infiltração são função da quantidade de água disponível, e para que haja escoamento a intensidade da precipitação deve ser maior que a capacidade de infiltração e a altura precipitada deve ser suficiente para que o solo alcance a capacidade de campo.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Caracterização geral da área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na Bacia do Açude Edson Queiroz, localizada na porção norte ocidental do Ceará, e na porção sul da bacia do Acaraú, no município de Santa Quitéria, a cerca de 250 km de Fortaleza, e possui uma área de drenagem de aproximadamente 1.777 km<sup>2</sup> (CEARÁ, 2011). A Figura 5 mostra a localização da bacia hidrográfica do Açude Edson Queiroz no contexto estadual.

Figura 5 – Localização da bacia do Açude Edson Queiroz



Fonte: Própria autora.

#### 3.2 Clima

O reservatório está inserido em uma região árida que, de acordo com a classificação de Köppen, o clima é caracterizado como BSw'h', clima quente e semiárido, apresentando

temperaturas médias entre 26°C e 28° C, e possuindo uma precipitação média anual inferior a 800 mm (MEIRELES; FRISCHKORN; ANDRADE, 2007).

Há concentração pluviométrica entre janeiro e maio, com pico em março, representando quase 30% da pluviometria média anual nesse mês. A estação chuvosa se inicia em janeiro, aumentando até o final de abril, sendo março o mês mais chuvoso, diminuindo gradativamente até junho. A estação seca se estende até dezembro, sendo setembro, outubro e novembro bastante escassos de chuvas (CEARÁ, 2011).

Ainda segundo Ceará (2011), as condições climáticas locais são influenciadas, principalmente, pelos deslocamentos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Ela constitui o principal sistema sinótico que condiciona a quadra chuvosa. Vale ressaltar a influência da proximidade do escarpamento da Ibiapaba influencia positivamente o aumento do volume pluviométrico, comparativamente a outros quadrantes do Estado do Ceará.

### 3.3 Vegetação

A região em torno do açude Edson Queiroz é constituída por três tipos de vegetação, que segundo Ceará (2011) são elas: Caatinga Arbustiva densa, Caatinga Arbórea dispersa e Florestas Superenifólia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida).

A bacia possui a maior parte da sua área ocupada por vegetação do tipo caatinga arbustiva, no sertão de Santa Quitéria. Esse tipo de vegetação deixa o solo exposto na maior parte do ano, por ser esparsa e perder as folhagens (FIGUEIREDO et al., 2007). A Caatinga é um tipo de vegetação xerófila que ocorre no semiárido do Nordeste brasileiro (COSTA, 2013).

A parte formada pela Floresta Superenifólia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida) apresenta árvores com caules retilíneos, espessos, cobertos com líquens, orquídeas e samambaias. Suas espécies vegetais alcançam em torno de 30 m de altura. A ocorrência de chuvas orográficas são os principais condicionantes que levam a ocorrência desse tipo de vegetação (CEARÁ, 2011). Algumas espécies comuns são representadas por Ingá (*Inga bahiensis*), Guabiraba (*Campomanesia dichotoma*), Pinheiro (*Podocarpus sellowii*) e Erva do mato (*Palicourea aenveofusca*) (COSTA, 2013).

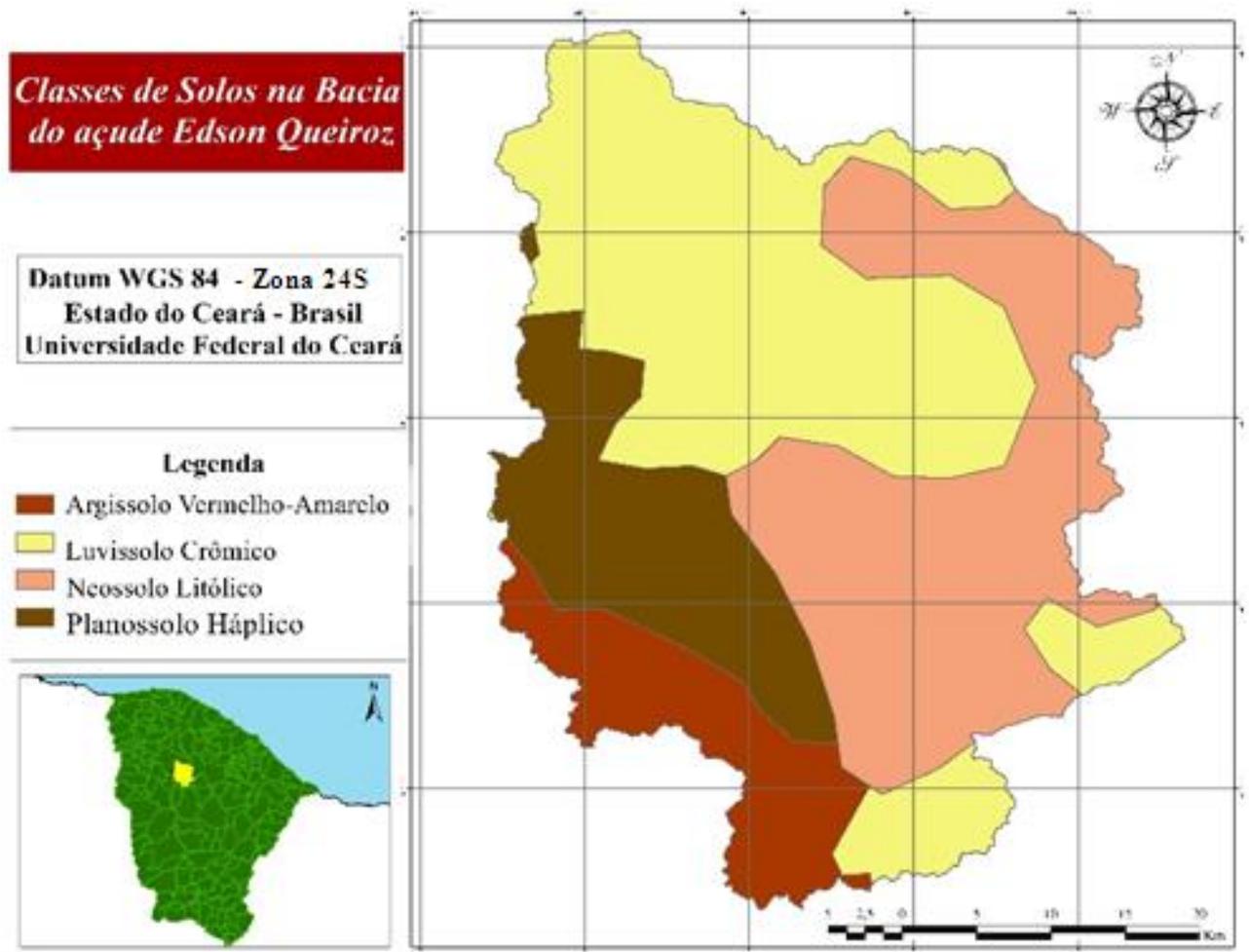
A caatinga, e considerado o bioma que vem sofrendo com o processo de desmatamento. A principal causa da destruição desse bioma na região da bacia, são a extração da mata para obtenção de lenha e carvão, o cultivo de subsistência, o pastoreio, ou ainda a urbanização, logo onde existiam a ocorrência de espécies arbóreas, verificam-se troncos,

gravetos, arbustos entrelaçados, troncos retorcidos e um extrato herbáceo bastante desenvolvido e dominante espacialmente, onde as árvores são pouco numerosas (CEARÁ, 2011).

### 3.4 Caracterização do solo da região

As classes de solos predominantes na bacia hidrográfica do açude Edson Queiroz foram identificadas e classificadas através do serviço de Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, fornecido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Os tipos de solos encontrados na bacia são, em nível de ordem, os Argissolos, Luvisolos, Neossolos e Planossolos (Figura 6) sobre os quais se desenvolve a vegetação de Caatinga, típica do semiárido nordestino (GIULIETTI et al., 2004).

Figura 6 – Distribuição dos tipos de solos predominantes na bacia do açude Edson Queiroz



Fonte: Adaptado de Funceme (2017).

Primitivamente, as áreas de Planossolos e Luvisolos Crômicos eram revestidos por caatinga arbórea e matas secas, exibindo uma grande variedade de espécies arbóreas. Nas

sucessões ecológicas a vegetação foi fortemente degradada, comprometendo a qualidade dos solos e dos demais recursos naturais renováveis. Os Neossolos são revestidos parcialmente pelas matas ciliares com predominância da carnaúba, encontrando-se também grande frequência da Oiticica. Tratam-se de solos que apresentam as melhores condições de uso e ocupação agrícola na área de entorno do Açude Edson Queiroz (FUNCEME, 2010).

De acordo com a Embrapa (2013), os luvisolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com alta atividade de argila e alta saturação por bases na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A (exceto A chernozêmico) ou sob horizonte E. Distribuem-se com uma maior expressividade em regiões como o semiárido nordestino (CEARÁ, 2011).

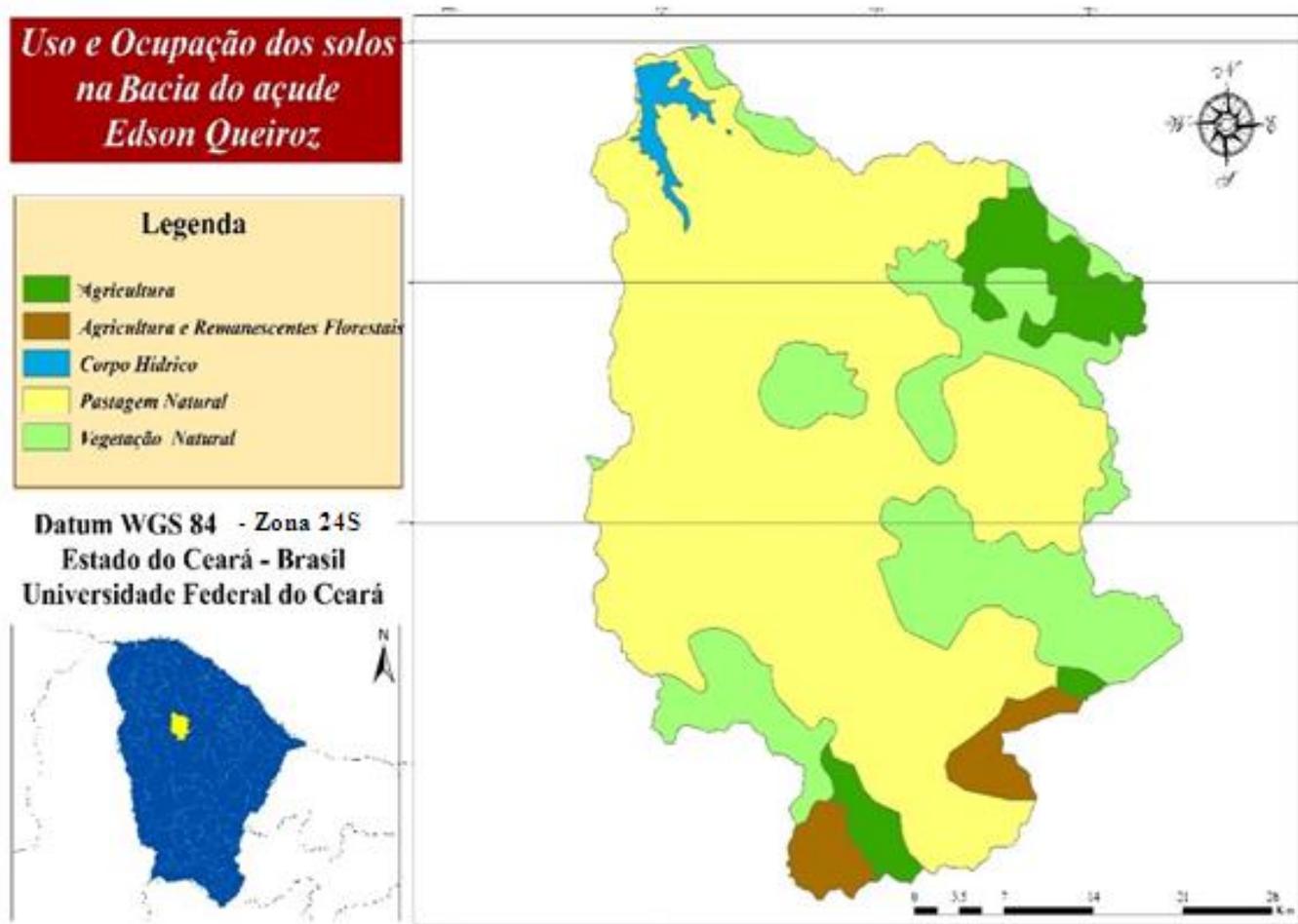
Os planossolos háplicos apresentam permeabilidade lenta a muito lenta e se situam em posições da paisagem com problemas de escoamento para os fluxos hídricos. Geralmente com alta concentração de argila, e saturação por bases alta, com valores maiores ou iguais a 50% na maior parte do horizonte B (CEARÁ, 2011).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013), os Neossolos litólicos são solos com horizonte A assentados diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr, assim sendo poucos espessos e com fertilidade natural variável, em função da natureza da rocha. Por fim, os Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com baixa atividade de argila (SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS, 2013). Para Ceará (2011), os Argissolos Vermelho-Amarelos, de modo geral, têm elevado potencial agrícola. No Estado do Ceará, apresentam perfis bem diferenciados, comumente profundos (poucas vezes rasos), textura, normalmente, arenosa ou média, no horizonte A e argilosa ou média no B.

### **3.5 Uso e ocupação do solo**

A Figura 7 ilustra o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo, e mostra que a maior parte da área total é formada de pastagem natural, podendo destacar, ainda, zonas de vegetação natural (caatinga), remanescentes florestais e atividade de agricultura.

Figura 7– Mapa de uso e ocupação de solos na bacia do açude Edson Queiroz



Fonte: Adaptado de Funceme (2017).

A área de entorno do açude apresenta uma cobertura vegetal moderadamente preservada, equivalente a 3,62% da área total (Tabela 2), que vem sofrendo com as ações antrópicas, como por exemplo, o desmatamento (CEARÁ, 2011).

Tabela 2 – Classificação de uso e ocupação do solo para a bacia do Açude Edson Queiroz

Uso do solo	Área (km <sup>2</sup> )	% da área total
Agricultura	113,65	6,36
Remanescentes florestais	64,64	3,62
Corpo hídrico	21,79	1,22
Pastagem natural	1.191,43	66,69
Vegetação natural	395,06	22,11

Fonte: Funceme (2009).

Apenas 22,11% da área total de drenagem da bacia corresponde a vegetação natural (caatinga), isso ocorre devido à alta atividade de extração de lenha e carvão na região, além da retirada da vegetação natural para fins agropecuários (CEARÁ, 2011).

#### 4 METODOLOGIA

Foram inventariados quatro postos pluviométricos e um posto fluviométrico localizados próximos a área pertencente a Bacia do açude Edson Queiroz. Os dados de precipitação pluviométrica de cada posto, utilizados nesse estudo, foram obtidos da base de dados disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA). Dados diários de evaporação foram obtidos do posto localizado em Sobral-CE, proveniente do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), relativos ao período 1999 a 2016 (Tabela 3).

Tabela 3 – Estações inventariadas para o estudo

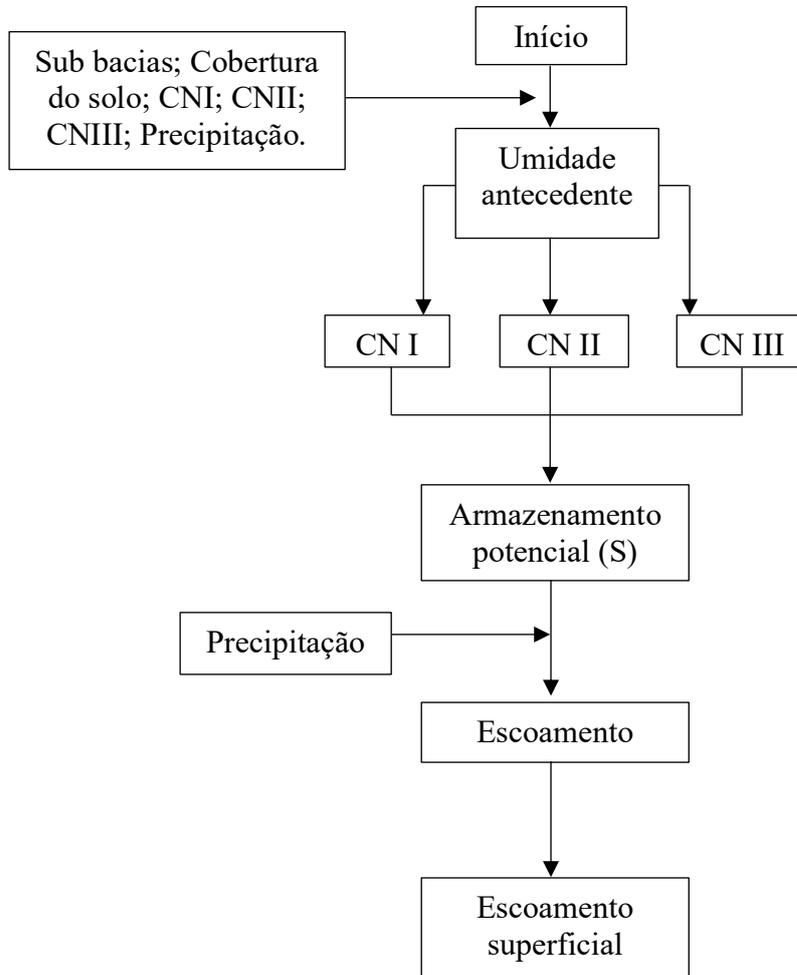
<b>Código do Posto</b>	<b>Nome do Posto</b>	<b>Período</b>
<b>Posto Pluviométrico</b>		
440015	Açude Edson Queiroz	2000 – 2007
440081	Raimundo Martins	2001 – 2010
440077	Santa Quitéria	1999 – 2016
439068	Santa Rita dos Galdinos	1999 – 2011
<b>Posto Fluviométrico</b>		
35235000	Santa Quitéria	1999 – 2016
<b>Posto Meteorológico</b>		
82392	Posto Sobral	1999 – 2016

Fonte: Própria autora.

Foram também adquiridos através da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), dados de volumes instantâneos, ou seja, aqueles que entram no reservatório, em escala diária totalizando um período de 18 anos (1999 – 2016). Junto à COGERH foram ainda coletados dados das curvas cota-área-volume (CAV) do açude Edson Queiroz.

O método SCS-CN foi utilizado para a obtenção da vazão afluente na bacia, cada parâmetro necessário para a obtenção do mesmo pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma do método CN para a obtenção do escoamento superficial



Fonte: própria autora.

Para determinar a série das precipitações efetivas da bacia foi empregado o método dos polígonos de Thiessen. O procedimento foi realizado através do software QGIS 2.18, e após carregado o arquivo, os polígonos de Thiessen foram confrontados com as áreas dos polígonos as quais pertenciam a bacia do açude Edson Queiroz, e definindo-se as regiões de influência de cada posto pluviométrico nesta bacia. Tal método considera a não uniformidade da distribuição espacial dos postos, porém, não leva em conta as influências orográficas do relevo da região sobre o total precipitado em uma determinada região (VILLELA; MATTOS, 1975).

Para cada área de influência, foram classificadas as condições médias de umidade (Average Moisture Condition – AMC), com base em dados diários de precipitação, segundo a metodologia SCS-CN (Soil Conservation Service), levando-se em consideração a estação climática e a precipitação acumulada antecedente dos últimos 5 dias conforme a Tabela 4 apresentada a seguir.

Tabela 4 – Classificação do grupo AMC com base na precipitação ocorrida nos últimos 5 dias

Grupo AMC	Precipitação acumulada antecedente dos últimos 5 dias (mm)	
	Estação Seca	Estação Úmida
I	Menor que 13 mm	Menor que 36 mm
II	Entre 13 e 28 mm	Entre 36 e 53 mm
III	Acima de 28 mm	Acima de 53 mm

Fonte: Mello e Silva (2013).

O modelo SCS considera três condições de umidade antecedente (AMC) do solo para a estimativa do CN, que de acordo com Sartori, Genovez e Neto (2005), são:

- i. AMC I: É a condição em que os solos das bacias estão secos, com uma umidade abaixo da capacidade do campo, ou precipitação acumulada antecedente dos últimos 5 dias menor que 36 mm para a estação úmida, e, em outro período, menor que 13 mm;
- ii. AMC II: Condição em que os solos estão com umidade próxima a capacidade de campo;
- iii. AMC III: Condição em que os solos estão com umidade acima da capacidade de campo, ou ocorreram eventos de chuvas nos últimos 5 dias, com o solo próximo da saturação, assim considerando o total precipitado maior que 53 mm para a estação úmida, e em outro período, maior que 28 mm.

Quando os solos se encaixam no parâmetro AMC I, o CN deverá ser corrigido, utilizando a Equação 2. Caso sejam encaixados no parâmetro AMC II, o valor de CN deverá ser calculado por meio da fórmula 3. Para determinar os valores de CN e conseqüentemente os valores para AMC, foi utilizada a Tabela 5, a partir de dados quanto ao tipo de solo (A, B, C e D) e quanto ao uso. Segundo Mota (2016), os tipos de solos são:

- i. Grupo A: São solos com baixo potencial de produção de escoamento direto quando completamente saturados, sendo a água transmitida livremente através do solo. Geralmente, possuem menos de 10% de argila e mais de 90% de areia ou cascalho;
- ii. Grupo B: Solos com potencial de produção de escoamento moderadamente baixo quando saturados. Tipicamente possuem entre 10% e 20% de argila e de 50% a 90% de areia.
- iii. Grupo C: Solos com potencial de produção de escoamento moderadamente alto quando saturados e a transmissividade da água relativamente restrita. Apresentam entre 20% e 40% de argila e menos de 50% de areia.

- iv. Grupo D: Possuem alto potencial de produção de escoamento quando saturados. A transmissividade da água é restrita, podendo ser muito restrita em alguns casos. Geralmente, apresentam mais de 40% de argila e menos de 50% de areia, com texturas argilosas. Neste grupo são observados solos com menos de 50 cm de profundidade até a camada impermeável e menos de 60 cm até o nível de água. Em algumas regiões, solos do grupo D tendem a ser altamente expansivos.

Tabela 5 – CN para diferentes tipos e usos do solo

Tipo de uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas	Grupo hidrológico			
	A	B	C	D
<b>Solo cultivado:</b>				
Sem conservação do solo	72	81	88	91
Com conservação do solo	62	71	78	81
<b>Pastagens:</b>				
Condições pobres	68	79	86	89
Condições ótimas	39	61	74	80
<b>Margens dos rios:</b>				
Condições ótimas	30	58	71	78
<b>Florestas:</b>				
Troncos finos, cobertura pobre, sem ervas	45	66	77	83
Cobertura boa	25	55	70	77
<b>Espaços abertos, gramados, parques, campos de golfe, cemitérios etc.:</b>				
Boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	84
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)	89	92	94	95
Distritos industriais (72% de impermeabilização)	81	88	91	93
<b>Uso residencial:</b>				
Tamanho médio do lote / % impermeável				
até 500 m <sup>2</sup> / 65	77	85	90	92
1000 m <sup>2</sup> / 38	61	75	83	87
1500 m <sup>2</sup> / 30	57	72	81	86
2000 m <sup>2</sup> / 25	54	70	80	85
4000 m <sup>2</sup> / 20	51	68	79	84
Estacionamentos pavimentados, telhados, acessos etc.	98	98	98	98
<b>Ruas e estradas:</b>				
Pavimentadas, com guias e drenagem	98	98	98	98
Com cascalho	76	85	89	91
De terra	72	82	87	89

Fonte: Chow et al., (1988).

Os valores de CN foram associadas as diversas características de uso e ocupação do solo da bacia. Após a determinação dos valores de CN para cada área de influência, em escala de tempo diária, calculou-se os valores de armazenamento potencial da bacia (S),

abstração inicial ( $I_a$ ) e de precipitação efetiva ( $P_e$ ) correspondente, utilizando a metodologia e fórmulas do método SCS-CN. Para determinação da precipitação potencial máxima absorvível pela bacia, utilizou-se a Equação 1:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (1)$$

Onde, o CN ou CN (II) é o número da curva de runoff para o método SCS-CN correspondente ao AMC II e S corresponde ao armazenamento máximo potencial da bacia (em polegadas). Em seguida, pode-se determinar os demais parâmetros do método SCS-CN, através das Equações 2 e 3.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10-0,058CN(II)} \quad (2)$$

Em que o CN (I) equivale ao número da curva de runoff para o método SCS-CN correspondente ao AMC I. Vale ressaltar que as Equações 2 e 3 são fórmulas empíricas para a correção aproximada do valor Curva Número (CN).

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0,13CN(II)} \quad (3)$$

Em que o CN (III) é o número da curva de runoff para o método SCS-CN correspondente ao AMC III. Para a obtenção da abstração inicial ( $I_a$ ) e da precipitação efetiva ( $P_e$ ), fez-se uso das Equações 4 e 5.

$$I_a = 0,2S \quad (4)$$

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

Para cada área de influência dos postos pluviométricos, avaliou-se se a precipitação ( $P$ ) foi maior  $I_a$ , como condição de existência de precipitação efetiva ( $P_e$ ). Caso contrário, adotou-se  $P_e = 0$ . Após o conhecimento da precipitação efetiva de cada evento, calculou-se a vazão de runoff ( $Q_r$ ) correspondente, multiplicando  $P_e$  pela área da bacia ( $A$ ).

Para a representação do comportamento hidrológico é indispensável a seleção das estações fluviométricas, uma vez que a eficácia da aplicação do modelo chuva-deflúvio irá depender dos dados de vazão, que deverá representar um regime de vazões naturais (BACALHAU, 2015). Devido a estação fluviométrica escolhida registrar a vazão regularizada

alterando o comportamento real das vazões, foi necessário obter valores de vazão observada a partir de um balanço hídrico do açude.

O fator de forma alfa representa o padrão morfológico da bacia. Vale ressaltar que quanto maior o valor de alfa, mais aberto e raso é o formato da bacia, o que provoca o aumento da evaporação. Araújo, Güntner e Bronstert (2006) definem o parâmetro morfológico de alfa como mostrado na Equação 6:

$$\alpha = \frac{\sum V_i}{\sum h_i^3} \quad (6)$$

Em que  $V_i$  corresponde ao volume instantâneo ( $m^3$ ), o fator  $\alpha$  é conhecido como o fator de forma dos reservatórios e  $h_i$  é a altura instantânea correspondente ao volume  $V$  (m). A partir desse resultado, foi possível a obtenção do volume real do reservatório e a área superficial, utilizando as Equações 7 e 8:

$$V(h) = \alpha * h^3 \quad (7)$$

$$A(h) = 3 * \alpha * h^2 \quad (8)$$

Utilizou-se o balanço hídrico como para obtenção as vazões observadas em escala de tempo diário para a bacia do açude Edson Queiroz. A equação simplificada utilizada do balanço hídrico por unidade de área é dada pela Equação 9:

$$\frac{dV}{dt} = (Q_a) - (Q_{e,d} + Q_s + Q_g) \quad (9)$$

Em que  $\frac{dV}{dt}$  é a variação do volume armazenado ( $m^3$ ) na bacia em escala diária,  $Q_a$  é a vazão resultante do balanço hídrico correspondendo a vazão afluente observada ( $m^3/s$ ),  $Q_{e,d}$  é a vazão de evaporação apenas no período seco, para isso utilizou-se apenas dados diários de junho a janeiro,  $Q_s$  é a vazão de vertimento ( $m^3/s$ ), e por fim  $Q_g$  que indica a vazão regularizada ( $m^3/s$ ).

O critério utilizado para avaliação da acurácia do modelo hidrológico se deu através de uma estatística relacionada à comparação entre o hidrograma calculado e observado. Para Machado e Vettorazzi (2003), um dos mais importantes critérios para avaliar o ajuste de modelos hidrológicos é o Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE). Logo, foram calculados o coeficiente NSE e o erro da variação de volume, conforme as equações a seguir:

$$NSE = 1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{calc})^2}{\sum(Q_{obs} - \bar{Q}_{calc})^2} \quad (10)$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\sum Q_{obs} - Q_{calc}}{\sum(\bar{Q}_{obs})} * 100 \quad (11)$$

Em que NSE equivale ao coeficiente de Nash-Sutcliffe,  $Q_{obs}$  é a vazão observada,  $Q_{calc}$  é a vazão calculada, e  $\bar{Q}_{calc}$  corresponde as vazões médias calculadas. Este coeficiente pode variar de  $-\infty$  até 1, sendo 1 um ajuste perfeito. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de NSE superar 0,75, e é considerado aceitável se o valor de NSE fica entre 0,36 e 0,75. O NSE, além de traduzir a similaridade da variabilidade entre duas variáveis, é um indicador da similaridade de quantificação, o que é considerado bastante relevante na avaliação de confiança e eficiência na modelagem.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Estimativa do coeficiente de escoamento pelo método SCS-CN

A composição do uso e ocupação do solo com base no conhecimento dos tipos de solos e o CN associado à cada classe conforme a classificação proposta pelo SCS resultou em um CN ponderado (Tabela 6) para cada região de influência dos postos pluviométricos.

O tipo de solo é uma característica necessária para o estabelecimento do valor do CN, e verificou-se a presença de solos tipo D na região da bacia hidrográfica do Açude Edson Queiroz, apresentando um elevado potencial de escoamento.

Tabela 6 – Coeficiente de escoamento médio para cada área de influência

Postos pluviométricos	CN ponderado	Área de influência (km <sup>2</sup> )
Açude Edson Queiroz	79	205,10
Raimundo Martins	87	669,75
Santa Quitéria	89	114,10
Santa Rita dos Galdinos	87	804,14

Fonte: própria autora.

Através da média ponderada, obtida pelo método dos polígonos de Thiessen, obteve-se o CN que melhor representa as condições de escoamento de cada sub áreas da bacia alocadas nos quatros principais postos pluviométricos. A escolha de valores ponderados considera a regionalização das estações e a área da bacia hidrográfica. Caso não se utilizasse esta ponderação, o erro associado à variabilidade das condições de escoamento seria relativamente grande (VILLELA; MATTOS, 1975).

O posto Açude Edson Queiroz possui oito anos de série de dados de precipitação pluviométrica observados, não apresentando falhas que comprometam a análise. A área de contribuição calculada utilizando os polígonos de Thiessen foi de 205,10 km<sup>2</sup>.

O CN único na condição de umidade AMC II, através da ponderação dos dados da Tabela 7, foi estimado em um valor médio de 79. Observa-se que este valor se refere à condição de AMC II, o que representa, para as condições de umidade I e III, valores equivalentes a 61 e 90, respectivamente.

Tabela 7 – Valores de CN e suas respectivas áreas de ocorrência no posto Açude Edson Queiroz

Uso do solo	CN para cada grupo hidrológico	
	Grupo hidrológico D	Área (%)

Água	0	10,66
Pastagem Natural	89	81,16
Vegetação Natural	83	8,14

Fonte: própria autora.

A área equivalente a 10,66% corresponde ao açude Edson Queiroz, o valor de CN escolhido se deu pelo fato de que a água é uma região de depósito, para tal definição adotou-se um valor zero. Há uma grande ocorrência de pastagem natural na região da bacia hidrográfica que vem sofrendo desmatamento (CEARÁ, 2011), acarretando numa maior exposição do solo, condição esta que favorece o escoamento superficial. A região de vegetação abrange 8,14% da área de influência total do posto, onde que, por essa vegetação ser caducifólia, perde suas folhas no período de estiagem, como forma de reduzir a evapotranspiração, o que favorece o escoamento.

O posto pluviométrico Raimundo Martins apresenta uma série de dados de precipitação pluviométrica observadas de 10 anos (2001 a 2010). A área de contribuição calculada, utilizando os polígonos de Thiessen, foi de 669,75 km<sup>2</sup>.

A determinação do CN para a condição de umidade AMC II, foi feita a partir da média ponderada dos dados da Tabela 8, obtendo-se um valor de 87.

Tabela 8 – Valores de CN e as respectivas áreas de ocorrência no Posto Raimundo Martins

Uso do solo	CN para cada grupo hidrológico	
	Grupo hidrológico D	Área (%)
Agricultura	91	4,30
Agricultura e Remanescentes Florestais	77	9,20
Pastagem Natural	89	72,90
Vegetação Natural	83	13,60

Fonte: própria autora.

Para as condições de umidade antecedente (AMC I e AMC III), foram obtidos valores de CN de 74 e 94, respectivamente. Observa-se, novamente, a predominância de pastagem natural na região da bacia correspondente à área do posto Raimundo Martins, parte de remanescentes florestais concomitantemente a agricultura. Os remanescentes florestais compõem, aproximadamente, 9,20% da área de influência, um valor significativo, o que mostra que a interferência desse tipo de vegetação diminuiu o valor de CN quando comparado ao posto

de Santa Quitéria. A agricultura nessa região é de subsistência e com frequente atividade pecuária (CEARÁ, 2011). Tal decorrência explica o fato de na área ter obtido um valor médio de CN alto.

O posto de Santa Quitéria apresenta 18 anos (1999 a 2016) de série de dados observados, e sua área de influência calculada foi de 114,10 km<sup>2</sup>. A área correspondente ao posto é formada apenas, de pastagem natural (Tabela 9), associada a dois tipos de solos pertencentes ao grupo hidrológico D, o luvissole e planossolo.

Tabela 9 – Valores de CN e as respectivas áreas de ocorrência no Santa Quitéria

Uso do solo	CN para cada grupo hidrológico	
	Grupo hidrológico D	Área (%)
Pastagem Natural	89	100

Fonte: própria autora.

A partir das informações da Tabela 9, foram calculadas as condições de umidade antecedente (AMC I e AMC III), cujo valores obtidos foram de CN de 77 e 95, respectivamente.

Verificou-se que na área pertencente ao posto de Santa Quitéria, prevalece um CN de 89 para pastagem natural. Esse comportamento mostra o papel fundamental da cobertura vegetal na retenção e minimização das perdas de água por escoamento, corroborando com resultados de Araújo Neto et al. (2012).

O posto de Santa Rita dos Galdinos, que possui série com 13 anos (1999 a 2016) de dados de precipitação observados, tem uma área de contribuição calculada de 804,14 km<sup>2</sup>. Da área total, 53,09% é de pastagem natural, 35,90% é formada por vegetação, e 10,62% composto por atividades agrícolas, o que equivale a quase a área de influência total do posto, conforme visto na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de CN e as respectivas áreas de ocorrência no Posto Santa Rita dos Galdinos

Uso do solo	CN para cada grupo hidrológico	
	Grupo hidrológico D	Área (%)
Agricultura	91	10,62
Pastagem Natural	89	53,09
Vegetação Natural	83	35,90

Fonte: própria autora.

Baseado nos valores de CN e suas respectivas áreas de ocorrência, foi obtido o CN médio para o posto de Santa Quitéria, onde, por meio da ponderação dos dados da Tabela 10, obteve-se um valor de 87 para as condições de AMC II. E, a partir das Equações 2 e 3, foram calculados os valores de CN para as condições de umidade AMC I e AMC III, sendo 74 e 94 respectivamente.

Prevalecem na bacia hidrográfica, a pastagem natural abrangendo 67,30% da área total e a vegetação natural (caatinga), correspondendo a 22,31%, juntos correspondendo a quase 90% de toda a bacia. O menor valor de CN foi encontrado no posto Açude Edson Queiroz, isso se deve pelo fato da área de influência do posto apresentar ocorrência de vegetação do tipo caatinga e pastagem natural. Na área também observa-se a presença de pequenos rios, o que pode, também, interferir no escoamento.

O desenvolvimento da caatinga na área é do tipo arbustiva aberta, logo, há maior penetração de luz solar. Esse comportamento corrobora com os resultados encontrados por Muñoz-Robles et al. (2011), os autores observaram que as áreas com maior cobertura herbácea no semiárido do sudeste australiano, apresentaram um amplo controle de escoamento.

Kang et al. (2001), constataram, também para regiões de semiárido, que áreas com cobertura vegetal semelhantes podem apresentar respostas hidrológicas diferentes, isso ocorre devido ao arranjo da cobertura vegetal.

De acordo com Tyagi et al. (2008), o método SCS-CN busca representar as perdas hídricas potenciais de uma bacia; quanto menor o valor do parâmetro CN, maior será o armazenamento inicial (S) de uma bacia, reduzindo a possibilidade de escoamento. Nesse sentido, verificou-se que a área de influência para o posto Açude Edson Queiroz apresentou maiores valores de S mínimo e máximo, e um menor valor de CN, valores inversos foram verificados para os demais postos (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores de armazenamento inicial (S) e o número de curva CN médio calibrado

<b>Posto Pluviométrico</b>	<b>S mínimo (mm)</b>	<b>S máximo (mm)</b>	<b>CN médio</b>
Açude Edson Queiroz	29	161	79
Raimundo Martins	16	90	87
Santa Quitéria	13	75	89
Santa Rita dos Galdinos	16	90	87

Fonte: própria autora.

As áreas dos postos Raimundo Martins e Santa Rita dos Galdinos, apresentaram

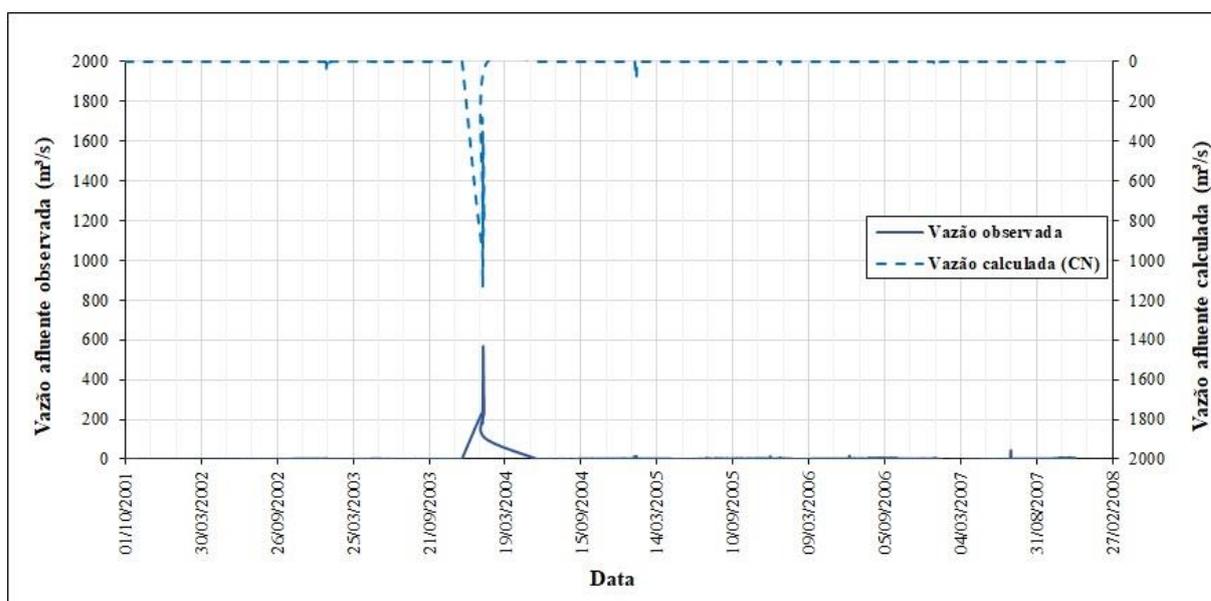
valores iguais para o CN e para o parâmetro S. Essa ocorrência se deu pelo fato de ambas as áreas serem cobertas por vegetação do tipo floresta caducifólia espinhosa, e sabe-se que tais regiões se encontram desmatadas (CEARÁ, 2011). Portanto, essa ocorrência acarretou numa maior exposição do solo, conseqüentemente maiores são as chances de ocorrer escoamento.

Observou-se que os valores de CN para diferentes usos do solo, para região semiárida, estão coerentes com os valores observados em Kang et al. (2001), Casermeiro et al. (2004); Figueiredo (2001) e Araújo Neto (2012), representando o nível de confiança na utilização dos valores de CN em condições reais para o estudo da predição do escoamento superficial em bacias hidrográficas.

## 5.2 Relação chuva-deflúvio na bacia hidrográfica do Açude Edson Queiroz

Apresentam-se, na Figura 9, os deflúvios estimados e observados, ambos obtidos pelo método SCS-CN e pela equação do balanço hídrico simplificado (Equação 9), respectivamente.

Figura 9 – Hidrograma de vazão afluyente observada x vazão afluyente calculada



Fonte: própria autora.

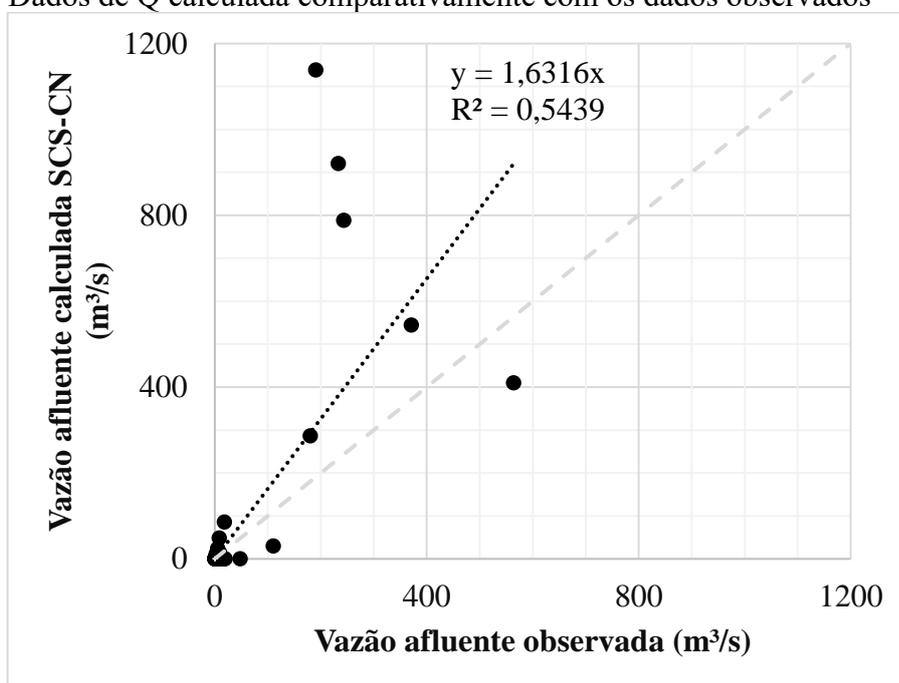
Observou-se que o modelo hidrológico apresentou um mau desempenho para a bacia hidrográfica do Açude Edson Queiroz, o que foi associado ao fato de que esse método do SCS-CN foi desenvolvido para pequenas bacias hidrográficas (PONCE; HAWKINS, 1996).

A qualidade dos resultados da aplicação do modelo foi avaliada verificando os valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) e do erro de volume ( $\Delta V$ ), sendo estes de -1,76 e 41,73%, respectivamente. É importante ressaltar que o hidrograma estimado, gerados pelos valores de vazão representativos da bacia hidrográfica, produziram um coeficiente de Nash-

Sutcliffe negativo; este comportamento se deu porque o modelo produziu uma maior translação do hidrograma estimado em relação ao observado, fazendo com que houvesse um elevado valor no numerador do coeficiente (Equação 10); entretanto, a magnitude dos deflúvios estimados não ficou comprometida com erros aceitáveis em relação aos valores observados.

Baseado na Figura 10 pode-se observar a dispersão dos valores em torno da reta 1:1. Primeiramente, observa-se uma menor dispersão na parte inferior da reta, enquanto que, na direção inversa, nota-se uma maior dispersão dos valores. Para vazões afluentes maiores que 200 m<sup>3</sup>/s, a estimativa foi seis vezes maior que os valores de vazão observada.

Figura 10 – Dados de Q calculada comparativamente com os dados observados

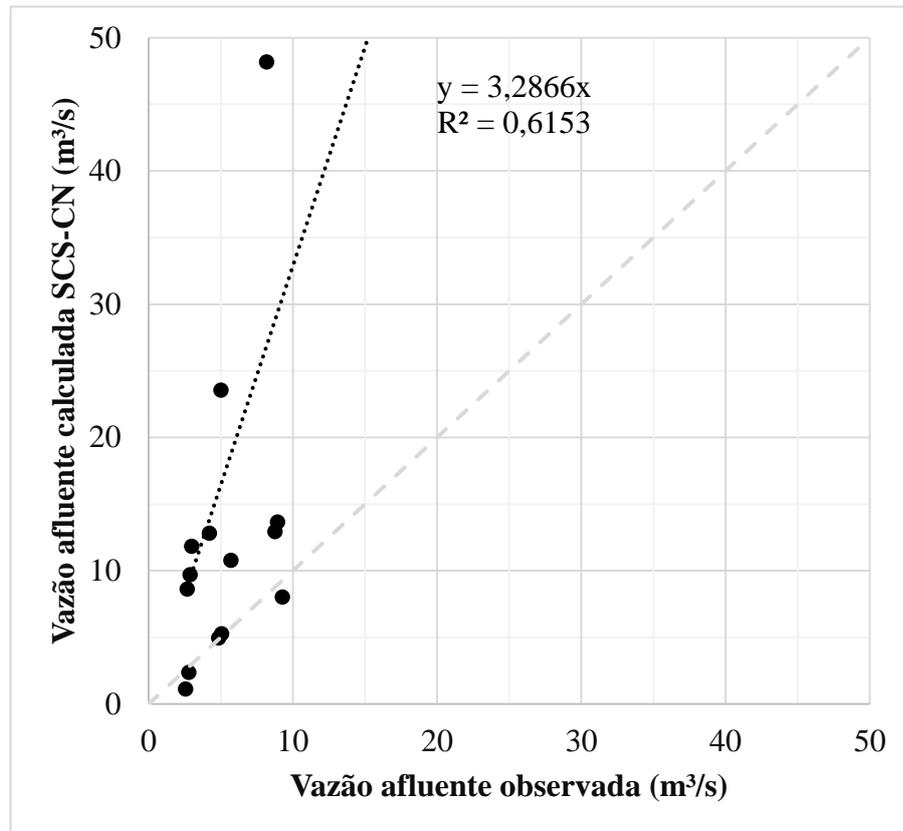


Fonte: própria autora.

Nota-se que o modelo mostrou eficácia para vazões de até aproximadamente 600 m<sup>3</sup>/s, visto que são observados a distribuição dos pontos próximos a reta de comportamento do modelo. Acima desse valor, observa-se uma maior distribuição dos pontos distante da reta identidade, concluindo-se assim que o modelo não foi eficiente para vazões altas.

A Figura 11 apresenta a ocorrência de vazão (Q) quando  $Q > 0$ . Observou-se que, quando há ocorrência de vazão, o modelo gera um erro médio absoluto de 12 m<sup>3</sup>/s. No entanto, o comportamento da vazão (Q), observada na Figura 10, mostra que para uma vazão afluente observada de 190 m<sup>3</sup>/s, o modelo gerou uma vazão de aproximadamente 1200 m<sup>3</sup>/s.

Figura 11 – Dados de Q calculada e vazões observadas para Q até 50 m³/s



Fonte: própria autora.

Para cada valor de vazão afluente observada, tem-se uma superestimativa da vazão afluente calculada pelo modelo SCS-CN de chuva-deflúvio de três vezes mais. Concluiu-se então, que há uma melhor representação do modelo quando tem ocorrência de vazão.

Os resultados sugerem que o modelo não está atendendo o objetivo de estimativa do volume afluente para a bacia, uma vez que este é o componente do balanço hídrico de maior peso no período chuvoso. No entanto, o volume indica que o método SCS-CN, com a metodologia empregada, está superestimando o escoamento superficial na bacia hidrográfica do Açude Edson Queiroz.

## 6 CONCLUSÕES

Foi possível observar que, com a metodologia utilizada, o método do SCS-CN superestimou as vazões afluentes para a Bacia Hidrográfica do Açude Edson Queiroz apresentando um fraco desempenho, o que inviabiliza seu uso para a estimativa de volume afluente na referida bacia.

Com a carência de dados mais precisos, ficou-se sujeito a grandes incertezas quanto aos resultados da quantificação de vazões. Visto que o método SCS-CN foi criado para pequenas bacias, fica entendido o porque da superestimativa dos resultados.

Portanto conclui-se que através de um modelo empírico simples, não foi possível estimar, com precisão, o escoamento superficial direto de um evento de chuva qualquer para a bacia em questão. Logo, há uma grande demanda por estudos hidrológicos confiáveis para as grandes bacias, e que levem em conta a carência de dados fluviométricos da rede de monitoramento existente.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, A. M. B.; SOUSA FILHO, F. A.; CAMPOS, J. N. B. Incorporação do impacto da rede de reservatórios superficiais artificiais de caráter intranual na modelagem hidrológica chuva-vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 67-82, 2013.
- ANDRADE, E. M. **Regionalization of average annual runoff models for ungagged watersheds in arid and semiarid regions**. 1997. 192 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais Renováveis) – Universidade do Arizona, Tucson, 1997.
- AQUINO, D. N. et al. Estimativa do escoamento superficial em microbacia do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG. **Revista Tecnologia**, v. 29, n. 1, p. 37-45, 2008.
- ARAGÃO, D. A.; OLIVEIRA, J. G. B. Gestão de recursos hídricos: aspectos da pequena açudagem na gestão de sub-bacias no Ceará. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 038-049, 2011.
- ARAÚJO NETO, J. R. **Efeito de diferentes manejos sobre o escoamento superficial em microbacias experimentais no semiárido tropical**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ARAÚJO NETO, J. R. et al. Otimização do número da curva (CN-SCS) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 264-279, 2012.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.
- BACALHAU, J. R. **Simulação da disponibilidade hídrica e operação de reservatórios de abastecimento em relação à variabilidade Climática: bacia do rio Pirapama em Pernambuco**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

BARBOSA, F. C.; TEIXEIRA, A. S.; GONDIM, R. S. Espacialização da evapotranspiração de referência e precipitação efetiva para estimativa das necessidades de irrigação na região do Baixo Jaguaribe-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 1, p. 24-33, 2005.

BARROS, C. A. P. et al. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 557-564, 2014.

BARTLEY, R. et al. Runoff and erosion from Australia's tropical semi-arid rangelands: influence of ground cover for differing space and time scales. **Hydrological Processes**, v. 20, p. 3317–3333, 2006.

BIER, F. B. **Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC**. 2013. 115 f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

CADIER, E. **Hidrologia das Pequenas Bacias do Nordeste Semi-Árido**: Transposição Hidrológica. Recife: SUDENE, DPG. PRN. HME, 1994. 481p. (Hidrologia/ 31)

CANTÓN, Y. et al. Hydrological and erosion response of a badland system in semiarid SE Spain. **Journal of Hydrology**, v. 252, n. 1, p. 65-84, 2001.

CASERMEIRO, M. A. et al. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. **Catena**, v. 57, p. 91-107, 2004.

CASTILLO, V. M.; GOMEZ-PLAZA, A.; MARTINEZ-MENA, M. The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: a simulation approach. **Journal of Hydrology**, v. 284, n. 1, p. 114-130, 2003.

CASTRO, K. B. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada**. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da bacia do Acaraú**. Eudoro Walter de

Santana (Coord.). Fortaleza: INESP, 2009. 128p., il. (Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, v. 1).

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Programa de gerenciamento das águas territoriais**. Fortaleza, 2011. Boletim técnico, Convênio COGERH/DNOCS.

CEBALLOS, A.; SCHNABEL, S. Hydrological behaviour of a small catchment in the dehesalanduse system (Extremadura, SW Spain). **Journal of Hydrology**, v. 210, p. 146–160, 1998.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. International edition, MacGraw-Hill, Inc, 1988. 149p.

COELHO, G. B. **Análise e simulação do processo de transformação de chuva em vazão com suporte de Sistema de Informação Geográfica (SIG)**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação) – Programa de pós-graduação em ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS, 2008. 274 p.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 3, p. 27-39, 2003.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Inventário ambiental açude Edson Queiroz**. Fortaleza, 2011. 106 p.

COSTA, A. C. **Hidrologia de uma bacia experimental em caatinga conservada no semi-árido brasileiro**. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.

CUNHA, S. F. et al. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 837-

848, 2015.

DI BELLO, R. C. **Análise do comportamento da umidade do solo no modelo chuva-vazão smap ii-versão com suavização hiperbólica estudo de caso: região de barreiras na bacia do Rio Grande-BA.** 2005. 225 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FACCO, A. G. **Modelagem do balanço hídrico em microbacia hidrográfica com plantio eucalipto.** 127 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Revista Acta Amazônia**, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2005.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 12, n. 4, 2007.

FIGUEIREDO, J. V. **Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em Caatinga preservada.** 84 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2011.

FILL, H. D. et al. Balanço hídrico da bacia do Rio Barigüi, PR. **RA'E GA-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 9, 2005.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS.

**Mapeamento do uso e ocupação das áreas de entorno dos reservatórios Orós, Banabuiú, Araras, Forquilha, Ayres de Souza, e Edson Queiroz no Estado do Ceará /** Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – Fortaleza: FUNCEME, 2010. 154 p.: 12 mapas – escala trabalhada 1:10.000.

GAREN, D. C.; MOORE, D. S. Curve number hydrology in water quality modeling: Uses, abuses, and future directions. **JAWRA Journal of the American Water Resources**

**Association**, v. 41, n. 2, p. 377-388, 2005.

GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. *In*: SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T.; LINS, L.V. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 48-90.

GUILLOT, P. The arguments of the gradex method: a logical support to assess extreme floods. **IAHS PUBLICATION**, p. 287-287, 1993.

GONÇALVES, T. D. **Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal**. 2007. 88p. Dissertação (Mestrado em Geologia na área de Processamento de Dados e Análise Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

HAAN, C.T.; BARFIELD, B.J.; HAYES, J.C. **Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments**. San Diego: Academic Press, 1993. 588 p.

IZIDIO, N. S. C. et al. Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 44-52, 2013.

JACOBS, J. H.; SRINIVASAN, R. Effects of curve number modification on runoff estimation using WSR-88D rainfall data in Texas watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 60, n. 5, p. 274-279, 2005.

JEON, J. H.; LIM, K. J.; ENGEL, B. A. Regional calibration of SCS-CN L-THIA model: application for ungauged basins. **Water**, v. 6, n. 5, p. 1339-1359, 2014.

KANG, S. et al. Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau of China. **Hydrological Processes**, v. 15, n. 6, p. 977-988, 2001.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista**

**Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 147–155, 2003.

MACHADO, F. W. **Modelagem chuva-vazão mensal utilizando redes neurais artificiais**. 2005. 174p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidrológica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MALVEIRA, V. T. C. **Pequena açudagem e sustentabilidade hidrológica em grandes bacias semi-áridas: estudo de caso da bacia do açude Orós**. 2009. 121 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E. M. de. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-árido cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 25-31, 2007.

MELLO, C. R. **Estudos hidrológicos em micro bacias hidrográficas com regime de escoamento efêmero**. 2003. 133 p. Tese (Doutorado em Solo e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

MELLO, C. R. et al. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 494-500, 2003.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M. Simulação do deflúvio e vazão de pico em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p.410-419, 2007.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. 1ed. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 455p.

MISHRA, S. K. et al. A rain duration and modified AMC-dependent SCS-CN procedure for long duration rainfall-runoff events. **Water resources management**, v. 22, n. 7, p. 861-876, 2008.

MONTZKA, Carsten et al. Modelling the water balance of a mesoscale catchment basin using

remotely sensed land cover data. **Journal of Hydrology**, v. 353, n. 3, p. 322-334, 2008.

MOREIRA, I. A.; MINE, M. R. M.; PEREIRA FILHO, A. J. Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros. **Ingeniería del Agua**, v. 14, n. 2, p. 83-96, 2007.

MOTA, T. U. **Associação entre os métodos SCS-CN e GRADEX para cálculo de vazões máximas**. 2016. 132p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2016.

MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 39-50, 2011.

MOURA, A. E. S. S. et al. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da mata atlântica na bacia do Prata, Recife-PE. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 461-469, 2009.

MUGABE, F. T.; HODNETT, M.; SENZANJE, A. Comparative hydrological behaviour of two small catchments in semi-arid Zimbabwe. **Journal of Arid Environments**, v. 69, n. 4, p. 599-616, 2007.

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

NETO, J. R. A. et al. Otimização do número de curva (cn-scs) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 264 - 279, 2012.

PEEL, M. C.; MCMAHON T. A.; FINLAYSON B. L.; Continental differences in the variability of annual runoff-update and reassessment. **Journal of Hydrology**, v. 295, n. (1-4), p. 185-197, 2004.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 143-156, 2010.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia básica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Edgar Blücher Ltda.,

1976. 278p.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 1, n. 1, p. 11-19, 1996.

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**, v. 5, n. 2, p. 301-307, 2001.

PULLAR, D; SPRINGER, D. Towards integrating GIS and catchment models. **Environmental Modelling & Software**, v. 15, n. 5, p. 451-459, 2000.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

RODRIGUES, L. N.; PRUSKI, F. F.; SILVA, E. M. Metodologia para Estimativa da precipitação anual em áreas agrícolas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. **Anais**. CD ROM.

RODRIGUES, J. O. et al. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 312–318, 2013.

SAMPAIO, S. C. et al. Estudo da precipitação efetiva para o município de lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 210-213, 2000.

SANTOS, K. S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 828–835, 2012.

SARTORI, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos**. 2004. 161p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) - Instituto de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SILVA, P. M. O. et al. Modeling of the flood hydrograph in a watershed of the Alto Rio Grande region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 258–265, 2008.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3. p. 111-131, 1998.

SIMANTON, J. R. et al. Runoff curve number variation with drainage area, Walnut Gulch, Arizona. **Transactions of the ASAE**, v. 39, n. 4, p. 1391-1394, 1996.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS / SANTOS, H. G. et al. [Classificação dos solos brasileiros]. 3.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.: il. color.; 16cm x 22cm.

SOARES, M. R. G. J. et al. Potencial de Retenção de Águas Pluviais pelo Método “Curve Number”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 3, p. 476-485, 2014.

SOBRINHO, T. A. et al. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

SOUZA, R. M. S. et al. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 449-455, 2015.

STEWART, D.; CANFIELD, E.; HAWKINS, R. 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, 2011.

TEDELA, N. H. et al. 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, 2011.

TUCCI, C.E.M.; BELTRAME, L.F.S. **Evaporação e evapotranspiração**. In: TUCCI, C.E.M. (org.) Hidrologia - Ciência e aplicação. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. cap. 19.

TYAGI, J. V. et al. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. **Journal of Hydrology**, v. 352, p. 388–403, 2008.

VENDRUSCOLO, J. **Regionalização dos parâmetros de um modelo chuva-vazão para estimativa de vazões em bacias sem monitoramento sistemático**. 2005. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VIEIRA, C. P.; PALMIER, L. R. Medida e modelagem da interceptação da chuva em uma área florestada na região metropolitana de Belo Horizonte - MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 3, p. 101-112, 2006.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

VIOLA, M. R. et al. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 581-590, 2009.

XU, C.-Y.; SINGH, Vijay P. A review on monthly water balance models for water resources investigations. **Water Resources Management**, v. 12, n. 1, p. 20-50, 1998.

ZHAN, X.; HUANG, M.-L. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. **Environmental Modelling & Software**, v. 19, n. 10, p. 875-879, 2004.