



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**RAFAEL DO NASCIMENTO RODRIGUES**

**RESPOSTA HIDROLÓGICA EM CURSOS EFÊMEROS NO SEMIÁRIDO EM  
FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E DO PADRÃO DE CHUVA**

**FORTALEZA**

**2016**

RAFAEL DO NASCIMENTO RODRIGUES

RESPOSTA HIDROLÓGICA EM CURSOS EFÊMEROS NO SEMIÁRIDO EM  
FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E DO PADRÃO DE CHUVA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ph.D Eunice Maia de Andrade.

FORTALEZA

2016

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)

---

R616r Rodrigues, Rafael do Nascimento.  
Resposta hidrológica em cursos efêmeros no semiárido em função da cobertura vegetal e do padrão de chuva / Rafael do Nascimento Rodrigues. – 2016.  
72 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade.

1. Escoamento superficial. 2. Cobertura vegetal. 3. Alturas pluviométricas. 4. Padrão de chuva. I. Título.  
CDD 630

---

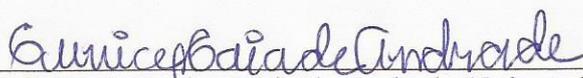
RAFAEL DO NASCIMENTO RODRIGUES

RESPOSTA HIDROLÓGICA EM CURSOS EFÊMEROS NO SEMIÁRIDO EM  
FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E DO PADRÃO DE CHUVA

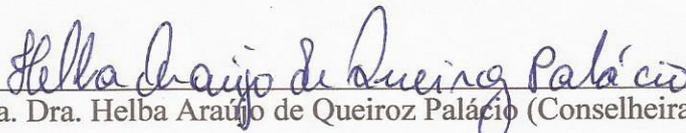
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovado em: 10 / 06 / 2016

BANCA EXAMINADORA



Profa. Ph.D Eunice Maia de Andrade (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará - UFC



Profa. Dra. Helba Araújo de Queiroz Palácio (Conselheira)  
Instituto Federal do Ceará - IFCE



Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho (Conselheiro)  
Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA

A meus pais, Antonio Rozeli Alves Rodrigues e Maria Ivanilde do Nascimento Rodrigues que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. A meu irmão Rômulo do Nascimento Rodrigues pelo seu grande exemplo de esforço e dedicação nos estudos. A minha avó Maria Alves Bezerra pela fé e confiança demonstrada.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, o que seria de mim sem a fé que eu tenho Nele.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por ter concedido a oportunidade de cursar o Mestrado e a todos os professores.

À minha orientadora a Professora Ph.D. Eunice Maia de Andrade, pelo grande apoio e incentivo durante o desenvolvimento desse trabalho.

À professora Dra. Helba Araújo de Queiroz Palácio, orientadora da graduação, pelo convívio, pelo apoio, pela compreensão, pela amizade, pela paciência e por sempre estimular meu crescimento profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo no primeiro semestre de mestrado.

A todos os integrantes do Grupo MASSA no IFCE - Campus Iguatu que contribuíram para a realização do trabalho em campo: Adriana, Cleisce, Cleene, Emanuel, Helba, Jacques, Júlio César, José Ribeiro, Joseilson, José Bandeira, José Ailton, Josivânia, Lobato, Paulilo, Samuel.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Massa (Manejo de Água e Solo no Semiárido) pelo excelente convívio: Amauri, Anthony Rafael, Luizinho, Elinalda, Fernando Lopes, Josivan, Leilson, Diego, Gina, Ramon Costa, Deodato, Junior Araújo, Júlio César.

Aos colegas da turma de Mestrado em Engenharia Agrícola: Emanuel, Josivan, Leilson, Paulilo, Paulo Roberto, Thiago, Thayslan.

Ao Laboratório de Água, Solo e Tecidos Vegetais do IFCE-Campus Iguatu, em nome do seu coordenador Adriano Erique de Oliveira Lima e dos técnicos José Ribeiro de Araújo Neto e José Wellington Canuto Lima, que viabilizaram a realização das análises de água e solo empregadas nessa investigação.

À minha namorada Maria José Magalhães Carneiro pelo amor, companheirismo e incentivo para que conseguisse encerrar essa etapa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO GERAL

RODRIGUES, Rafael do Nascimento. Universidade Federal do Ceará. Junho de 2016. **Resposta hidrológica em cursos efêmeros no semiárido em função da cobertura vegetal e do padrão de chuva.** Orientadora: Eunice Maia de Andrade. Examinadores: Profa. Dra. Helba Araújo de Queiroz Palácio e Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho.

O entendimento dos fatores envolvidos na resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica é fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. O objetivo desse estudo foi responder ao questionamento de como a cobertura vegetal de uma floresta tropical seca bem como o padrão de chuva podem influenciar sobre o coeficiente de escoamento gerado por alturas pluviométricas distintas. Os dados analisados foram referentes às estações chuvosas dos anos de 2008 à 2013. Foram monitorados os deflúvios de duas microbacias: caatinga em regeneração há 35 anos (CReg35) e caatinga raleada (CRal). No início da pesquisa, ano de 2008, ambas as microbacias apresentavam a mesma cobertura vegetal (CReg35), somente ao final deste ano foi efetuado o raleamento de uma das microbacias, eliminando-se as árvores com diâmetro inferior a 10 cm. Os eventos de precipitação foram classificados nos padrões: chuvas avançadas, intermediárias e atrasadas. Para identificar se os coeficientes de escoamento gerados antes e após o raleamento da vegetação apresentavam diferenças significativas, aplicou-se o teste “t” de Studart ao nível de 1%. Antes do raleamento (ano de 2008), a classe de  $P \leq 30$  mm registrou o maior percentual do coeficiente de escoamento diferindo estatisticamente ao nível de 1% de significância dos outros anos. Eventos de grande magnitude ( $>50$  mm) o escoamento está mais dependente das características da chuva e das condições de umidade do solo. O raleamento proporcionou redução no escoamento total anual dos cinco anos monitorados (2009-2013) nas  $P \leq 30$  mm, com uma diferença de escoamento de 46,2% na CRal em relação à precipitação efetiva pela CReg35. O maior desenvolvimento do estrato herbáceo devido ao raleamento resultou num impedimento ao fluxo do escoamento superficial, necessitando de maior lâmina precipitada para gerar escoamento. O coeficiente de escoamento médio foi de 10,43% para a microbacia com CReg35 e 6,01% para a CRal. A resposta do escoamento perante aos padrões de chuvas seguiu uma mesma tendência em ambas as microbacias, com maiores precipitações efetivas registradas para padrões intermediário seguido do atrasado e avançado. O estrato herbáceo existente na CRal reduziu o fluxo superficial, o que resultou em uma menor precipitação efetiva nos diferentes padrões de chuvas quando comparada com a CReg35.

**Palavras-chave:** Escoamento superficial. Cobertura vegetal. Alturas pluviométricas. Padrão de chuva.

## GENERAL ABSTRACT

RODRIGUES, Rafael do Nascimento. Federal University of Ceará. June 2016. **Hydrologic response in ephemeral courses in the semiarid region due to the vegetation cover and rainfall patterns.** Advisor: Eunice Maia de Andrade. Examiners: Profa. Dra. Helba Araújo de Queiroz Palácio and Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho.

The knowledge the factors involved in the hydrological response of a watershed is essential to the planning and management of water resources. The aim of this study was to answer the question of how the vegetation of tropical dry forest and the rainfall patterns can influence on the coefficient of runoff generated by rainfall different heights. Data were related to the rainy seasons of the years 2008 to 2013. We monitored the runoff two watersheds: scrub in regeneration for 35 years (CReg35) and thinned caatinga (CRal). At baseline, 2008, both watersheds had the same vegetation cover (CReg35), only at the end of this year was made the sleaze of the watersheds, eliminating the trees with a diameter less than 10 cm. precipitation events were classified in the standards: advanced, intermediate and late rains. To identify whether the flow coefficients generated before and after the thinning vegetation presented significant differences, applied to the test "t" Studart the level of 1%. Before thinning (2008), the class of  $P \leq 30$  mm recorded the highest percentage of runoff coefficient were significantly different at the 1% level of significance for other years. large magnitude events ( $> 50$  mm) the flow is more dependent on rain characteristics and soil moisture conditions. The thinning caused a reduction in total annual runoff monitored during the five years (2009-2013) the  $P \leq 30$  mm, with a 46.2% difference in flow CRal in relation to the effective precipitation CReg35. Further development of the herbaceous layer due to thinning resulted in impediment to the runoff flow, requiring larger blade hasty to generate flow. The average flow rate was 10.43% for the watershed with CReg35 and 6.01% for the CRal. The response of the flow before the rainfall patterns followed the same trend in both watersheds, with higher effective rainfall recorded for intermediate patterns followed by the delayed and advanced. The existing herbaceous in CRal reduced surface flow, which resulted in a lower effective precipitation in different patterns of rainfall compared to CReg35.

**Keywords:** Superficial flow. Vegetal cover. Rainfall heights. Rain pattern.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das microbacias em estudo no município de Iguatu, Ceará, Brasil.....	25
Figura 2 – Detalhes da vegetação herbácea nas microbacias experimentais no período chuvoso: (A) Caatinga em regeneração há 35 anos; (B) Vegetação raleada	26
Figura 3 – Precipitação média mensal do período de 1974 a 2014 do município de Iguatu, Ceará.....	27
Figura 4 – Perfil do solo das microbacias estudadas (A), detalhe da estrutura do solo com formação de fendas (B) e acesso à área no período chuvoso (C) .....	28
Figura 5 – Detalhe do Pluviógrafo de báscula (A) e Pluviômetro do tipo <i>Ville de Paris</i> (B).....	31
Figura 6 – Modelo da calha Parshall instalada nas microbacias experimentais .....	32

### CAPÍTULO 1

Figura 7 – Localização da área em estudo no Estado do Ceará, Brasil.....	43
Figura 8 – Visão parcial das condições de vegetação da microbacia experimental, antes (A) e depois (B) do raleamento .....	44
Figura 9 – Visão parcial das condições de vegetação da microbacia experimental, na estação seca antes (A) e depois (B) do raleamento.....	45
Figura 10 – Modelo do pluviógrafo (A) e calha Parshall (B) instalados na microbacia experimental .....	46
Figura 11 – Relação entre coeficiente de runoff e precipitação na escala de evento para a microbacia em estudo sobre diferentes classes de precipitação .....	51
Figura 12 – Média do coeficiente de escoamento sobre diferentes classes de precipitação .....	52

### CAPÍTULO 2

Figura 13 – Localização das microbacias em estudo no município de Iguatu, Ceará, Brasil.....	61
Figura 14 – Detalhes da vegetação herbácea nas microbacias experimentais no período chuvoso: (A) Caatinga em regeneração há 35 anos; (B) Vegetação raleada	62

Figura 15 – Modelo do pluviógrafo (A) e calha Parshall (B) instalados na microbacias experimentais.....	63
Figura 16 – Relação precipitação efetiva e precipitação para $P \leq 30$ mm nos padrões avançado (A), intermediário (B) e atrasado (C) .....	67
Figura 17 – Relação precipitação efetiva e intensidade em 30 minutos (I30) para $P \leq 30$ mm nos padrões avançado (A), intermediário (B) e atrasado (C) .....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das intensidades de chuva.....	23
Tabela 2 – Características morfométricas das microbacias experimentais caatinga em regeneração e caatinga raleada .....	26
Tabela 3 – Características climáticas para o município de Iguatu, Ceará.....	27
Tabela 4 – Dados de análise físico-química do solo das microbacias.....	29

### CAPÍTULO 1

Tabela 5 – Características da cobertura vegetal da microbacia ao longo do período estudado .....	44
Tabela 6 – Características morfométricas da microbacia experimental.....	45
Tabela 7 – Síntese hidrológica da microbacia experimental para o período em estudo. 47	
Tabela 8 – Distribuição dos eventos de chuva para as classes estudadas.....	49
Tabela 9 – Precipitação, lâmina escoada e coeficiente de escoamento gerado nas classes estudadas.....	49

### CAPÍTULO 2

Tabela 10 – Características morfométricas das microbacias experimentais .....	62
Tabela 11 – Síntese hidrológica das microbacias durante o período estudado (2009-2013) para $P \leq 30$ mm .....	64
Tabela 12 – Síntese hidrológica da CReg35 durante o período estudado (2009-2013) para $P \leq 30$ mm sobre distintos padrões de chuvas .....	65
Tabela 13 – Síntese hidrológica da CRal durante o período estudado (2009-2013) para $P \leq 30$ mm sobre diferentes padrões de chuvas .....	66

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>O Semiárido</b> .....	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Precipitação Pluviométrica</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3</b>	<b>Escoamento superficial</b> .....	<b>21</b>
<b>4.4</b>	<b>Fatores que influenciam no processo chuva-deflúvio</b> .....	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Localização</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>Manejo da cobertura vegetal</b> .....	<b>25</b>
<b>5.3</b>	<b>Características Fisiográficas</b> .....	<b>26</b>
<b>5.4</b>	<b>Clima</b> .....	<b>27</b>
<b>5.5</b>	<b>Solo</b> .....	<b>28</b>
<b>5.6</b>	<b>Vegetação</b> .....	<b>29</b>
<b>5.7</b>	<b>Período de estudo</b> .....	<b>30</b>
<b>5.8</b>	<b>Monitoramento Hidrológico das Microbacias</b> .....	<b>30</b>
<b>5.8.1</b>	<b>Precipitação</b> .....	<b>30</b>
<b>5.8.2</b>	<b>Escoamento Superficial</b> .....	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</b>

## CAPÍTULO 1

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## **CAPÍTULO 2**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>61</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas são conhecidas pelo seu ambiente de incertezas e contrastes. A mesma, também é caracterizada pela relação entre a precipitação anual e evapotranspiração potencial anual, gerando o índice de aridez (IA), compreendido entre 0,21 e 0,50. O período chuvoso da região corresponde de três a quatro meses, podendo concentrar-se em apenas dois meses, caracterizando a irregularidade do regime pluviométrico predominante na região. As chuvas costumam ser irregulares, tanto no espaço quanto no tempo. Outra importante característica não menos importante do semiárido são seus solos. Segundo Pimentel e Guerra (2009), os solos da caatinga, geralmente, são pouco profundos, de baixa permeabilidade, de baixo teor de matéria orgânica, mas relativamente ricos em bases trocáveis. Recebe anualmente excesso de calor e luz, o que resulta em uma rápida mineralização da matéria orgânica.

O monitoramento hidrológico de microbacias hidrográficas não é uma atividade simples, principalmente em regiões de escassez e incertezas como o semiárido brasileiro. Diversos fatores influenciam no escoamento superficial, desde climáticos (intensidade, duração da chuva e frequência) a fisiográficos (área e forma da bacia, permeabilidade do solo, topografia).

O estudo sobre o escoamento superficial é definido por variáveis como: intensidade da precipitação, altura pluviométrica, condição de umidade antecedente do solo, duração e frequência da precipitação, tipo de cobertura vegetal, distribuição espacial e temporal da precipitação pluviométrica, padrões e regimes de chuvas (CANTÓN et al., 2011; LA TORRE TORRES et al., 2011; FIGUEIREDO, 2011 e RAN et al., 2012, LIMA et al., 2013, SANTOS et al., 2015). Das variáveis mencionadas, a cobertura vegetal é uma das de maior influência na resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica (MUÑOZ-ROBLES et al., 2011; RODRIGUES et al., 2013b).

A eliminação da cobertura vegetal torna a superfície do solo exposta à ação direta das gotas das chuvas sobre o solo, 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 (CASERMEIRO et al., 2004; BARTLEY et al., 2006).

Portanto, o homem precisa desenvolver práticas de manejo onde possam conservar os recursos naturais (solo, vegetação e água), de forma a reter a máxima quantidade de água no solo com conseqüente redução do escoamento superficial. Grandes esforços têm

sido conduzidos sobre o entendimento do comportamento e/ou alterações dos processos hidrológicos em pequenas bacias, dada a sua relevante importância (SRINIVASAN et al., 2003; BARTLEY et al., 2006; MELLO et al., 2007). O essencial papel da água por si só, sobre a reserva hídrica do Bioma Caatinga, justifica investigações sobre o comportamento hidrológico, uma vez que as informações geradas podem ser aplicadas a outros sistemas com características similares (RODRIGUES, 2009).

Mesmo com algumas pesquisas já implantadas no semiárido sobre alterações da cobertura de microbacias nas áreas de nascentes, os estudos devem ser ampliados no sentido de gerar informações em escala de microbacias rurais de escoamento efêmero, principalmente investigando a influência do homem na alteração dos processos naturais (GARCIA-RUIZ et al., 2008; SANTOS et al., 2010).

O grande problema do estudo na região semiárida, está relacionado ao fato das certezas e incertezas das respostas hidrológicas perante o regime pluviométrico. Segundo Silva et al. (2012) é uma região que apresenta um clima bastante irregular, com relação aos índices pluviométricos e estará sempre sujeito a secas periódicas, com ocorrência de precipitações pluviais irregulares e mal distribuídas geograficamente. Diante dessas irregularidades está a frequente presença de eventos extremos e uma elevada quantidade de eventos pluviométricos inferiores a 30 mm (ANDRADE et al., 2013).

Os desafios desses estudos têm sido principalmente devido à dificuldade de um monitoramento contínuo, de forma a gerar informações qualitativas e quantitativas consistentes do processo de escoamento e dos diversos fatores que exercem influência sobre o mesmo (RODRIGUES et al., 2013a). Neste contexto desenvolveu-se esta pesquisa buscando-se entender a inferência do raleamento da cobertura vegetal de uma floresta tropical seca sobre o processo hidrológico de escoamento superficial gerado.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Investigar a resposta hidrológica em função da altura pluviométrica, sob três classes de precipitação:  $P \leq 30$  mm,  $30 < P \leq 50$  mm e  $P > 50$  mm, mostrando assim em quais das classes pluviométricas a cobertura vegetal, mas influenciou no escoamento superficial.

### **2.2 Específicos**

Comparar a resposta hidrológica em uma mesma microbacia ao efeito antes e após o raleamento;

Avaliar com base em dados medidos em duas microbacias adjacentes e similares, a resposta do escoamento perante a cobertura vegetal e padrão de chuva;

Avaliar as influências dos padrões de chuvas na resposta hidrológica em duas microbacias com uso de terra distinto;

Gerar informações do processo de escoamento em microbacias efêmeras, servindo de base para estudos posteriores.

### 3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está organizado da seguinte forma: primeiramente, uma parte inicial com uma introdução sobre o assunto a ser tratado, objetivo geral e específico, revisão de literatura abordando alguns estudos realizados, servindo assim como referência, e, por fim, o material e métodos apresentando uma síntese dos procedimentos metodológicos utilizados. Em seguida, dois capítulos com a seguinte estrutura: resumo, introdução, metodologia, resultados e discussão, conclusões e referências.

O Capítulo 1 teve como título "Respostas hidrológicas em microbacia na região semiárida tropical com cobertura vegetal modificada", tendo como objetivo responder ao questionamento de como o raleamento da cobertura vegetal de uma floresta tropical seca pode influenciar sobre o coeficiente de escoamento gerado.

O Capítulo 2 teve como título "Escoamento superficial em microbacias e suas relações com cobertura vegetal e padrões de chuvas", tendo como objetivo investigar a relação chuva-deflúvio com eventos de precipitações pluviométricas  $\leq 30$  mm em duas microbacias adjacentes com uso da terra distinto, localizadas no semiárido cearense.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 O Semiárido

As regiões semiáridas compreendem aproximadamente 17,7% do globo terrestre podendo ainda aumentar em função de alterações no ciclo hidrológico (ROTENBERG e YAKIR, 2010). No Brasil, a região semiárida abrange uma área de 969.589,4 km<sup>2</sup> e está localizada principalmente na região Nordeste, sendo caracterizada pela escassez hídrica, chuvas de alta intensidade e baixa frequência, com incertezas quanto a geração de escoamento superficial. Quando comparada a outras regiões semiáridas do planeta em que a precipitação média não ultrapassa os 400 mm, o Nordeste brasileiro é considerado um dos semiáridos mais chuvosos do mundo. Segundo Montenegro et al. (2012), esta região possui uma precipitação média anual de até 750 mm, variando entre algumas áreas.

Mesmo ante tal fato, o déficit hídrico não é somente dependente do total precipitado, mas da evapotranspiração potencial e como essas chuvas são distribuídas no decorrer da estação chuvosa. De acordo com Andrade et al. (2010), esta região apresenta um período chuvoso concentrado em três a quatro meses, com curtos períodos de precipitação e alta intensidade, sendo comum, em um único mês, o total precipitado ser superior a 70% da média da região. Estudos realizados por Rodrigues et al. (2015) identificaram a forte influência da distribuição das chuvas no escoamento superficial, logo a lâmina escoada teve maior dependência da concentração dos eventos pluviométricos do que da lâmina diária precipitada.

Dentre as características do semiárido já mencionadas, Vieira Filho (2006) destaca também o embasamento cristalino predominante que dificulta a retenção da água no solo, evapotranspiração potencial acima de 2000 mm, a predominância de rios intermitentes e/ou efêmeros e eventos hidrológicos extremos (secas e cheias). Além dos eventos extremos presentes, em função dos diversos processos climáticos geradores de precipitação sobre a região, o semiárido em si é caracterizado pela elevada quantidade de pequenos eventos pluviométricos. De acordo Andrade et al. (2013), o escoamento superficial de microbacias efêmeras sob alturas pluviométricas distintas apresenta uma distribuição desuniforme entre as classes, expressando uma concentração superior a 50% de eventos para altura pluviométrica < 30 mm.

Estudos têm sido conduzidos a fim de identificar os fatores hidrológicos determinantes da geração do escoamento em bacias hidrográficas (CANTÓN et al., 2011; RAN et al., 2012, SANTOS et al., 2014). Araújo Neto et al. (2013b), estudando a geração do

escoamento em diferentes escalas espaciais no semiárido, verificou que eventos com alturas pluviométricas superiores a 29 mm e 16,5 mm para microbacia de 1,19 ha e parcela de 20 m<sup>2</sup>, respectivamente, independente da umidade do solo, sempre gera escoamento superficial, onde o efeito escala influenciou nas respostas hidrológicas, refletindo nos valores de umidade do solo e lâmina precipitada para geração de escoamento nas escalas estudadas.

Já para Figueiredo (2011), estudando a Bacia Experimental de Aiuaba numa área de 7,7 km<sup>2</sup> no semiárido brasileiro, constatou que eventos de precipitação superiores a 47,5 mm, independente da umidade antecedente, sempre geraram escoamento, no entanto, para precipitações menores, esse autor não conseguiu estabelecer uma relação unívoca.

Outra característica na região semiárida do Nordeste é que os cursos de água (rios ou riachos) que escoam são quase todos de caráter intermitente, por secarem durante a maior parte do ano (OLIVEIRA et al., 2010), estando diretamente relacionado com a precipitação da região. Para Araújo et al. (2006) o manejo inadequado dos recursos naturais em microbacias nesta região pode proporcionar sérios reflexos negativos, como alterações das respostas hidrológicas, erosão em áreas agrícolas e redução da capacidade hidráulica de reservatórios.

Segundo Mello et al. (2007), um dos grandes desafios da hidrologia, sobretudo, em microbacias hidrográficas que possuem comportamento efêmero é entender o comportamento do ciclo hidrológico em função de diferentes usos e manejos do solo. Os autores ainda ressaltam que a hidrologia dessas microbacias é pouco estudada.

## **4.2 Precipitação Pluviométrica**

O estudo das precipitações é uma ferramenta importante, tanto para agricultura, planejamento e dimensionamento de projetos em recursos hídricos bem como para o entendimento da resposta hidrológica em bacias hidrográficas.

Seu estudo é difícil principalmente na região Nordeste, onde os processos climáticos geradores de precipitação são bem complexos. A variabilidade intra e inter anual na precipitação é gerada por diferentes sistemas atmosféricos que atuam na região Nordeste (SILVA et al., 2005), destacando-se os Vórtices Ciclônicos em Ar Superior, Distúrbios Ondulatórios de Leste, Zona de Convergência Intertropical, Zona de Convergência do Atlântico Sul e os Sistemas Frontais. Esses fenômenos influenciam diretamente e indiretamente a ocorrência de chuvas sobre a região do Nordeste do Brasil (GRAEF; HAIGIS, 2001; SILVA, 2004; ANDREOLI; KAYANO, 2007). A interferência de diferentes fontes

indutoras de precipitação ocasiona a grande variabilidade espacial e temporal no semiárido, definindo o seu regime hidrológico.

Além disso, as chuvas apresentam alterações em termos de intensidade, quantidade, frequência e principalmente, a distribuição espacial e temporal em uma dada região. Logo as características das chuvas mudam de região para região (KELLER FILHO et al., 2005), obtendo-se diferentes padrões de chuva em cada uma delas. Assim, um único padrão utilizado para pesquisa pode não ser representativo para outras regiões (FLANAGAN et al., 1988). Dessa forma, a organização das chuvas segundo suas características comuns é uma importante ferramenta para fins de comparação, principalmente no semiárido onde as chuvas se caracterizam pela variabilidade espacial e temporal.

Sabendo das diversas características das chuvas e que podem ser obtidos diferentes padrões, autores como Horner e Jens (1941) classificaram as chuvas de acordo com sua intensidade em padrão avançado, intermediário e atrasado, quando as localizações dos picos de maior intensidade, são no início, meio ou fim do período de duração das chuvas, respectivamente. A classificação original das chuvas proposta por Horner e Jens (1941) separa o tempo total de duração das chuvas em três partes iguais, ou seja, os padrões estariam entre 0% e 33,3%; 33,3% e 66,6% e 66,6% e 100% do tempo total de duração das chuvas. Mehl et al. (2001) propuseram uma modificação à classificação dos autores supracitado, onde as chuvas são divididas em chuvas de padrão: avançado (AV), quando a maior intensidade ocorre em um período de tempo menor ou igual do que 30% a partir do momento inicial da chuva em relação ao tempo de duração total da chuva; intermediário (IN), quando a maior intensidade ocorre num tempo situado entre 30% e 60% do tempo total a partir do início da chuva, e atrasado (AT), quando a maior intensidade ocorre passados mais de 60% do tempo total de duração da chuva a partir de seu início.

As características das chuvas (padrões de chuvas) podem fornecer informações importantes, no que diz respeito ao uso do solo e manejo das práticas conservacionistas (LIMA et al., 2013). Portanto é necessário a realização de estudos sobre as características físicas das chuvas como as relacionadas à variação de sua intensidade, principalmente para entender a resposta hidrológica de bacias hidrográficas onde diversos fatores estão envolvidos.

### 4.3 Escoamento superficial

O conhecimento do escoamento superficial é de suma importância para o dimensionamento de obras hidráulicas e para a conservação da água e do solo. Em uma bacia hidrográfica podem ocorrer diversos tipos de escoamento, dentre eles estão: escoamento superficial hortoniano, escoamento superficial por saturação subsuperficial, precipitação direta no canal, escoamento subsuperficial e o escoamento de água subterrânea (DUNNE; LEOPOLD, 1978).

Nas regiões áridas e semiáridas onde se predomina um ambiente cheio de contrastes e incertezas, estudos têm demonstrado a predominância do escoamento superficial hortoniano nessas regiões (COSTA, 2007; LI et al., 2011; FANG et al., 2012; WEI et al., 2014). Escoamento esse que ocorre quando a intensidade de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo (CHOW et al., 1988). Principalmente no semiárido brasileiro, em que o fator resultante para geração do escoamento superficial é proveniente das elevadas intensidades das chuvas, gerando escoamento do tipo hortoniano (SRINIVASAN et al., 2003; COSTA, 2007).

Em relação ao processo de escoamento superficial, estudos têm sido realizados em diversas regiões do mundo sob diferentes escalas, verificando alterações desse processo em função do uso do solo.

No semiárido da Espanha, Mayor et al. (2011) e Cantón et al. (2011) em estudos sobre geração e variação de escoamento, alertaram sobre a importância das relações dos diferentes componentes do solo (fragmentos de rochas, a cobertura, rugosidade da superfície, profundidade do solo e o teor de matéria orgânica) e suas interações no entendimento do comportamento hidrológico. Cantón et al. (2011) ainda reforçam que séries históricas longas e confiáveis de escoamento ainda são escassas nas regiões semiáridas.

Araújo Neto et al. (2013a), estudando a análise comparativa do escoamento superficial em microbacias experimentais no semiárido, verificaram que para a microbacia com cobertura vegetal raleada o limiar para a ocorrência de escoamento superficial é uma altura pluviométrica superior a 14 mm. Já para uma microbacia com vegetação inalterada há 35 anos, este limiar é uma lâmina precipitada de 8,5 mm para uma umidade do solo de 25%. E este arranjo expressa a interdependência de processos na definição do escoamento superficial. Já Santos et al. (2014), avaliando o escoamento em uma microbacia na Paraíba, detectaram que precipitação superiores a 80 mm, independentemente do número de dias consecutivos secos, foram capazes de gerar escoamento em 81% dos casos.

Autores como Rodrigues et al. (2013a) verificaram a influência da vegetação nas respostas hidrológicas de microbacias monitoradas no semiárido brasileiro, sendo os efeitos maiores sobre os primeiros eventos hidrológicos da estação chuvosa, destacando também a influência da umidade antecedente.

Liu et al. (2014) avaliaram o escoamento superficial na planície norte da china e verificaram que o volume de escoamento superficial aumentou com o aumento da intensidade da chuva e aumento do teor de umidade do solo, e diminuíram com o aumento da cobertura de vegetação.

Na China, Xu et al. (2013) investigaram a resposta do escoamento e erosão à frequente mudança no uso da terra na área de Três Gargantas, sob terras íngremes, e identificaram que o mecanismo de geração de escoamento e erosão do solo mudou como consequência da alteração do uso do solo. Já para os autores Palácio et al. (2012), a lâmina escoada apresentou uma maior dependência da concentração dos eventos pluviométricos do que da lâmina precipitada, expressando o efeito da umidade antecedente sobre a resposta hidrológica da bacia hidrográfica.

#### **4.4 Fatores que influenciam no processo chuva-deflúvio**

Diversos são os fatores que determinam o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica, segundo Lima (2010), o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica pode ser considerado como o produto residual do ciclo hidrológico, o qual é influenciado por três grandes grupos de fatores: clima, fisiografia e uso do solo.

Dentre esses fatores, a cobertura vegetal é um fator que influencia diretamente no escoamento superficial de uma bacia hidrográfica. Suas modificações são decorrentes de processos naturais e ações antrópicas que produzem alterações no ambiente e consequentemente nas respostas hidrológicas das bacias hidrográficas (GARCIA-RUIZ et al., 2008; LA TORRE TORRES et al., 2011; RAN et al., 2012). Estudos como o de Balbinot et al. (2008), em uma revisão sobre o papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas, verificaram que a presença ou não da vegetação, bem como o tipo de vegetação, têm grande influência sobre a quantidade de água produzida em uma bacia hidrográfica. Ainda com relação a influência da vegetação no escoamento, Jost et al. (2012) sugerem que diferentes espécies de árvores podem levar a diferentes respostas chuva-vazão no mesmo tipo de solo.

Outra variável bastante importante relacionada ao grupo do fator climático é a precipitação, não estando relacionada somente a quantidade de chuva; mas sim, a características como intensidade, duração, distribuição temporal e espacial, padrões de chuvas e regimes de chuvas. Fang et al. (2012) analisaram o escoamento e perda de solo em relação aos regimes de chuvas e mudanças de uso da terra em uma microbacia na área das Três Gargantas. Os referidos autores utilizaram dez anos de medições de precipitação, três regimes de chuva usando o método K-means clustering baseado na precipitação, intensidade máxima em 30 minutos e duração. Os autores verificaram que as características da precipitação foram determinantes para a importância relativa dos diferentes mecanismos de geração de escoamento, e que as mudanças de uso da terra na bacia do estudo diminuíram consideravelmente o escoamento e perda de solo.

O mesmo estudo foi conduzido por Santos et al. (2015) analisando o efeito dos regimes de chuva no escoamento superficial e na erosão do solo para uma microbacia com caatinga preservada, utilizaram o mesmo método e variáveis que Fang et al. (2012). Os referidos autores verificaram que as perdas de água e solo apresentaram alta relação com a frequência de ocorrência e do total precipitado no regime de chuva.

A intensidade da chuva também é importante, pois quanto maior a intensidade, mais rápido se inicia o escoamento superficial. A intensidade da chuva é a quantidade de água precipitada na unidade de tempo. Na Tabela 1 as intensidades são classificadas em cinco categorias, de acordo com Moraes (2007).

Tabela 1 – Classificação das intensidades de chuva

Intensidade (mm h)	Classificação
< 2	Suave
2 – 20	Moderada
20 – 50	Forte
50 – 90	Muito Forte
> 90	Torrencial

Fonte: Moraes (2007) citado por Figueiredo (2011).

Estudos realizados por Lima et al. (2013) avaliaram as perdas de solo e água em parcelas de erosão de 20 m<sup>2</sup> com diferentes coberturas vegetais, e a interferência das características da chuva (padrões de chuvas) sobre esses processos. Os referidos autores perceberam que, apesar do padrão avançado ter sido predominante no período estudado, isso não foi o principal fator responsável pelas perdas de água e solo, uma vez que a variação temporal, a precipitação total e a cobertura vegetal também contribuíram para os processos de erosão nas parcelas.

Outro fator importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorre quando o solo está úmido devido a uma chuva anterior, terá maior facilidade de escoamento (SANTOS et al., 2011). Estudos realizados por Mugabe et al. (2007) compararam as respostas hidrológicas de duas microbacias em clima semiárido no Sul da África. Os autores comentam que, mesmo com climas bastante parecidos, as microbacias apresentaram respostas hidrológicas bastante diferentes dependendo das características da precipitação pluviométrica. Neste estudo as respostas hidrológicas foram significativamente afetadas pelas condições de umidade antecedente.

Em relação à influência da cobertura vegetal sobre a umidade antecedente do solo, Gomes et al. (2012) verificaram a variação da umidade entre duas microbacias com manejos distintos, localizadas no município de Iguatu. Perceberam que o raleamento mostrou maior conservação da umidade antecedente do solo quando comparada com o manejo natural.

Rodrigues et al. (2013c) avaliaram e compararam o comportamento hidrológico em pequenas bacias de escoamento efêmero em regiões semiáridas. Apesar da importante participação da intensidade da chuva sobre as modificações nas respostas hidrológicas em todas as microbacias, a umidade antecedente do solo desempenhou o papel principal sobre escoamento. Portanto o estudo da resposta hidrológica em uma bacia hidrográfica é complexa por causa das diversas variáveis que podem influenciar na mesma.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Localização

A área de estudo está localizada no semiárido cearense, na sub-bacia do Alto Jaguaribe, área experimental pertence ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Iguatu, sendo composta por duas microbacias adjacentes e similares (Figura 1).

### 5.2 Manejo da cobertura vegetal

Uma das microbacias foi mantida durante todo o período de estudo com a cobertura vegetal nativa, floresta caducifólia, Caatinga em regeneração há 35 anos (Figura 1 e 2A). A segunda microbacia teve a sua cobertura vegetal raleada, aplicada em novembro de 2008, onde foi mantido o tratamento a cada dois anos (Figura 1 e 2B), sendo eliminadas as árvores com diâmetro inferior a 10 cm. Assim, para a microbacia raleada os dados de escoamento do ano de 2008 representa a condição da microbacia sem alteração da cobertura vegetal e cinco anos (2009 - 2013) com a cobertura vegetal raleada. O manejo de raleamento promoveu uma maior penetração de luz com conseqüente desenvolvimento do estrato herbáceo (PALÁCIO, 2011) (Figura 2B).

Figura 1 – Localização das microbacias em estudo no município de Iguatu, Ceará, Brasil

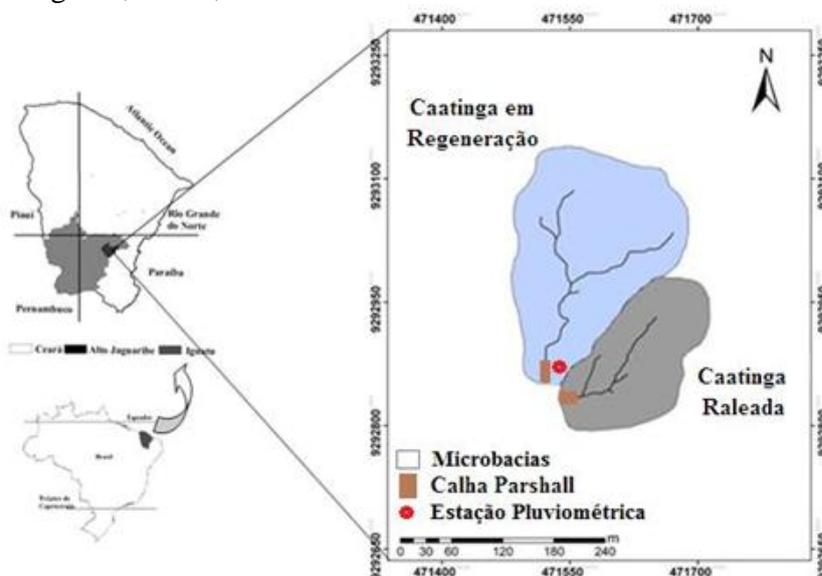


Figura 2 – Detalhes da vegetação herbácea nas microbacias experimentais no período chuvoso: (A) Caatinga em regeneração há 35 anos; (B) Vegetação raleada



Fonte: Andrade et al. (2013).

### 5.3 Características Fisiográficas

As microbacias são formadas por cursos d'água classificados, segundo a classificação de Strahler, como de 1ª e 2ª ordem, sendo desta forma, áreas de nascentes. Apresentam escoamento efêmero, onde o fluxo de água sobre o canal principal se faz presente durante e depois do evento pluviométrico, em um período médio de tempo não superior a 24 horas após o encerramento da chuva.

Os estudos na área tiveram início em 2007 quando as microbacias foram devidamente delimitadas e caracterizadas por Alves (2008) e Rodrigues (2009). Na Tabela 2 estão explicitadas as características morfométricas das microbacias experimentais determinadas de acordo com Villela e Matos (1975).

Tabela 2 – Características morfométricas das microbacias experimentais caatinga em regeneração e caatinga raleada

Características	Valores		Unidades
	Microbacias		
	Raleada	Regeneração	
Área da bacia (Ab)	1,15	2,06	ha
Perímetro (P)	478,4	594,5	m
Comprimento do talvegue (Lt)	120,5	183,9	m
Comprimento do curso principal (Lcp)	147,2	252,1	m
Comprimento da bacia (Lb)	188,2	204,4	m
Declividade da bacia (Db)	8,7	10,6	%
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,3	1,2	-
Tempo de concentração (Tc)	0,1	0,1	h
Sinuosidade do curso principal (Sin)	1,2	1,4	-

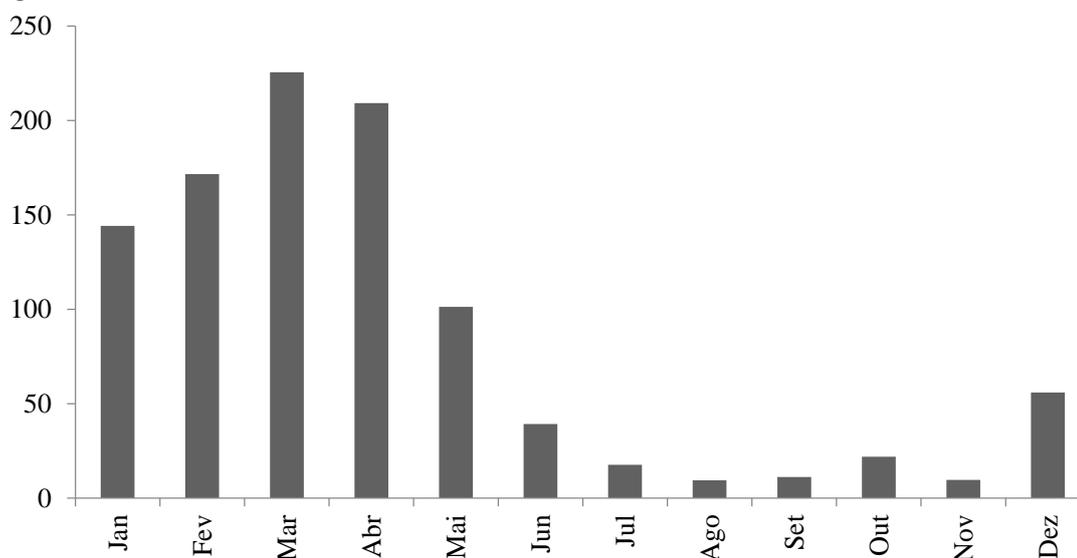
Fonte: Alves (2008).

## 5.4 Clima

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente) com temperatura média mensal sempre superior a 18 °C no mês mais frio. O Índice de Aridez de Thornthwaite (1948) é de 0,44, portanto classificando como semiárido. A evapotranspiração potencial média é de 1.988 mm ano<sup>-1</sup>, a precipitação média histórica no município de Iguatu é de 867 ± 304 mm (RODRIGUES et al., 2013a).

A precipitação pluviométrica na região concentra-se nos meses de janeiro a maio (Figura 3). A distribuição mensal é marcada por uma alta variabilidade temporal, podendo em um único mês concentrar um acumulo superior ao total anual de um ano seco (RODRIGUES, 2009).

Figura 3 – Precipitação média mensal do período de 1974 a 2014 do município de Iguatu, Ceará



Fonte: FUNCEME (2015).

Dentre as principais características climáticas da região, podem ser visualizadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características climáticas para o município de Iguatu, Ceará

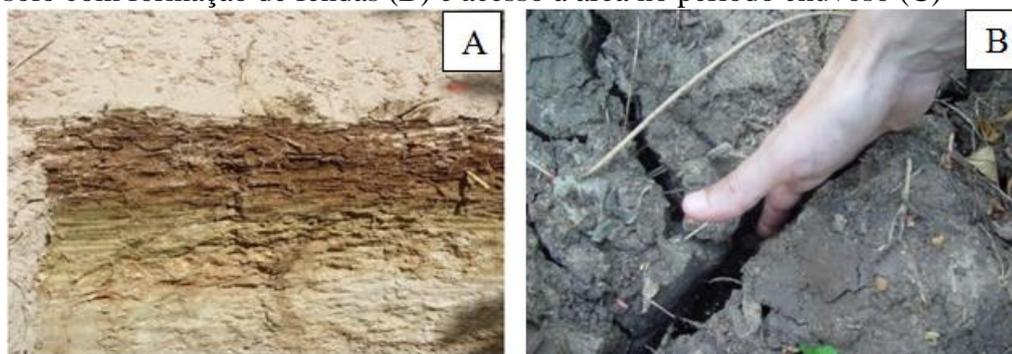
Variável	Valor	Unidade
Temperatura máx. média	31,7	°C
Temperatura mín. média	20,3	°C
Radiação solar média anual	5,63	KWh m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>
Insolação	2897,6	h ano <sup>-1</sup>
Umidade relativa do ar	61,8	%
Velocidade do vento	2,1	m s <sup>-1</sup>

Fonte: Santos (2012) adaptada.

## 5.5 Solo

Para a classificação dos solos, foi aberta uma trincheira representativa das duas microbacias (Figura 4A), sendo classificado como Vertissolo Ebânico Carbonático Típico, (EMBRAPA, 2013). A classe textural é franco argilosa com 27,4% de areia, 42,5% de silte e 30% de argila, com uma condutividade hidráulica saturada inferior a  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$ . Devido ao tipo de argila presente nos solos (2:1, grupo montmorilonita), é comum o surgimento de rachaduras (Figura 4B) na superfície nas épocas secas do ano, e encharcamento no período chuvoso (Figura 4C).

Figura 4 – Perfil do solo das microbacias estudadas (A), detalhe da estrutura do solo com formação de fendas (B) e acesso à área no período chuvoso (C)



Fonte: Eunice Maia de Andrade.

Fonte: Eunice Maia de Andrade.



Fonte: Ana Célia Maia Meireles.

Já para a caracterização físico-química do solo, foram coletadas amostras deformadas nos horizontes identificados da trincheira e levadas para os Laboratórios de Física e Química do Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará. Os parâmetros físico-químicos dos solos das microbacias podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de análise físico-química do solo das microbacias

Microbacias	Raleada e em Regeneração		
Horizontes	A	B	BCv
Profundidades (cm)	0 a 5	5 a 21	21 a 31
Parâmetros Físicos			
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	137	205	182
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	447	405	470
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	416	390	348
Silte/ Argila	1	1	1
Parâmetros Químicos			
C (g kg <sup>-1</sup> )	24,1	13,3	10,2
Ph	7,6	8,2	8,2
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	35	43	39
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	12	10	8,6
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,04	0,37	0,29
Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,13	0,13	0,15
H + Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,7	1,2	1,2
CaCO <sub>3</sub> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	145	144	151
P assim (mg kg <sup>-1</sup> )	42	62	59
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,48	0,3	0,29

Fonte: Araújo Neto (2012).

## 5.6 Vegetação

A composição da vegetação é tipicamente Caatinga, com caráter variável, desde espécies de porte herbáceo à arbóreo-arbustivo, tipicamente caducifólio de caráter xerófilo com grande variedade de espécies espinhosas.

Com base em levantamentos da flora nas microbacias realizados por Alves (2008) e Lopes (2008), a estrutura de cobertura vegetal encontrada na área é formada principalmente por espécies vegetais herbáceas, como *Hyptis sauaviolens* (L.) point (Banbural) e *Hyptis* sp. (melosa); seguido em menor proporção de espécies vegetais de caráter arbustivo e arbóreo como *Aspidosperma pyriforme* Mart (Pereiro), estes indivíduos apresentaram maior expressão na microbacia raleada

Já Pereira Júnior et al. (2016) em levantamento florístico e fitossociológico realizado na microbacia em regeneração, 3738 indivíduos/ha foram amostradas, distribuídas mais de 12 famílias, 21 gêneros e 22 espécies. As espécies mais abundantes foram *Croton sonderianus*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Aspidosperma pyriforme*, *Combretum leprosum* e *Bauhinia cheilantha*.

## 5.7 Período de estudo

Na investigação foram considerados os eventos pluviométricos ocorridos no período de seis anos (2008-2013), correspondendo à estação chuvosa da região (janeiro a maio), que geraram escoamento. Para investigar o efeito da cobertura vegetal sobre o escoamento superficial, os eventos foram divididos em três classes:  $P \leq 30$  mm,  $30 < P \leq 50$  mm e  $P > 50$  mm como sugerido por Andrade et al. (2013).

## 5.8 Monitoramento Hidrológico das Microbacias

As microbacias foram equipadas com estações hidroclimatológicas, contendo pluviômetros, calhas Parshall e pluviógrafos automáticos. Todos os dados foram coletados por meio de uma plataforma de coleta de dados (PCD) instalada em cada microbacia e programada para obtenção de dados a intervalos de 5 minutos. Este intervalo de tempo foi adotado, em função das altas intensidades de chuvas que ocorrem na região, e também pelo baixo tempo de concentração das unidades avaliadas (RODRIGUES, 2009).

### 5.8.1 Precipitação

Os dados pluviométricos foram obtidos através da estação pluviográfica automatizada como já descrito (Figura 5A). As microbacias, também, foram equipadas com um pluviômetro *Ville de Paris* (Figura 5B), sendo instalado próximo à estação hidroclimatológica. Os dados nos pluviômetros eram coletados, com representatividade de chuvas, com duração de 24 h, servindo como referência aos dados do pluviógrafo de balança.

Figura 5 – Detalhe do Pluviógrafo de báscula (A) e Pluviômetro do tipo *Ville de Paris* (B)



Fonte: Ana Célia Maia Meireles.

Fonte: Araújo Neto (2012).

### 5.8.2 Escoamento Superficial

Para medição do nível da água foi instalado um linígrafo automático, e a partir das cotas registradas no sensor converteu-se a altura da água em vazão mediante equação específica da calha Parshall (Figura 6), calculada por:

$$Q = 3,72W * 0,0086^{w^{0,026}} * h^{1,393*w^{0,026}} \quad (1)$$

Em que: Q - vazão da calha Parshall ( $L s^{-1}$ ); W - largura do estrangulamento (cm), com valor de 47,5 para a calha; h - altura da coluna d'água no ponto a montante do estrangulamento (cm). Os dados de vazão correlacionados com o tempo proporcionaram a geração de hidrógrafas para cada evento de chuva correspondente.

Figura 6 – Modelo da calha Parshall instalada nas microbacias experimentais



Fonte: Joseilson Oliveira Rodrigues.

O volume de água escoado no canal da microbacia durante um evento de precipitação foi obtido pela seguinte expressão (equação 2).

$$V = \sum_{t_0}^{t_n} Q(t) \Delta t \quad (2)$$

Em que:  $V$  – volume de água escoado correspondente a cada chuva (L);  $t_0$  – tempo de início do escoamento superficial (s);  $t_n$  - tempo de término do escoamento superficial (s);  $Q(t)$  – vazão em função do tempo ( $L s^{-1}$ );  $\Delta t$  – intervalo de tempo de escoamento (s). O volume escoado foi correlacionado com a área da bacia para obtenção do deflúvio ou lâmina escoada, de acordo com a expressão (equação 3).

$$D = \frac{V}{A} * 1000 \quad (3)$$

Em que:  $D$  – escoamento expresso em lâmina (mm);  $V$  – volume escoado ( $m^3$ );  $A$  – área da bacia ( $m^2$ ). O coeficiente de escoamento superficial ( $C$ ), que expressa o quanto da precipitação (PPT) converte-se em deflúvio, foi calculado pela razão entre o deflúvio e a precipitação, segundo a equação 4.

$$C = \frac{D}{PPT} \quad (4)$$

## REFERÊNCIAS

- ALVES, N. N. L. **Caracterização de micro-bacia hidrográfica experimental no semiárido brasileiro como suporte a estudos da degradação**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- ANDRADE, D. E.; ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO H. A. Q.; RODRIGUES J. O.; SANTOS, J. C. N. Escoamento superficial versus manejo da vegetação em microbacias do semiárido. *In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO*, 2013, Iguatu. **Anais...** Fortaleza: MASSA, 2013. p. 1-7.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q., 2010. **O semiárido cearense e suas águas**. In: Andrade, E. M., Pereira, O. J., Dantas, F. E. R. (Eds.) *O Semiárido e o manejo dos recursos naturais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, pp 71-94.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importância relativa do Atlântico tropical sul e Pacífico leste na variabilidade de precipitação do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 63-74, 2007.
- ARAÚJO, J. C.; GUNTNER, A.; BRONSTET, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v.51, p.157-170, 2006.
- ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; SANTOS, J. C. N.; LOBATO, F. A. O. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, p. 111-120, 2013a.
- ARAÚJO NETO, J. R. **Efeito de diferentes manejos sobre o escoamento superficial em microbacias experimentais no semiárido tropical**. 2012. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ARAÚJO NETO, J. R.; SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; BRASIL, J. B.; RIBEIRO FILHO, J. C. Geração de escoamento superficial em diferentes escalas espaciais com cobertura vegetal modificada no semiárido, 2013, Campina Grande. *In: I WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO*. **Anais...**, Campina Grande, p. 1-5, 2013b.
- BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência Guarapuava**, v. 4, p. 131-149, 2008.
- BARTLEY, R.; ROTH, C. H.; LUDWIG, J.; MACJANNET, D.; LIEDLOFF, A.; CORFIELD, J.; HAWDON, A.; ABBOTT, B. Runoff and erosion from Australian's tropical semi-arid rangelands: influence of ground cover for differing space and time scale. **Hydrological Processes**, v. 20, p. 3317–3333, 2006.

CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; VENDE, J.; BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; ASENSIO, C.; PUIGDEFÁBREGAS, J. A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 1254-1261, 2011.

CASERMEIRO, M. A.; MOLINA, J. A.; CARAVACA, M. T. D. L.; COSTA, J. H.; MASSANET, M. I. H.; MORENO, P. S. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. **Catena**, v. 57, p. 91–107. 2004.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. Singapura: McGraw Hill. International Editions: Civil Engineering Series, 1988. 572p.

COSTA, A. C. **Hidrologia em uma bacia experimental em Caatinga conservada no Semi-árido Brasileiro**. 2007. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in environment planning**. New York : W. H. Freeman, 1978. 818 p.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013, 353 p.

FANG, N. F.; SHI, Z. H.; LI, L.; GUO, Z. L.; LIU, Q. J.; AI, L. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed. **Catena**, v. 99, p. 1–8, 2012.

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

FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Storm pattern effect on infiltration, and erosion. **Transactions of the American Society of Agricultural**, Saint Joseph, v. 31, p. 414-420, 1988.

FUNCEME, **Séries pluviométricas do posto Iguatu – Ce (1974 – 2014)**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 14 set. 2015.

GARCIA-RUIZ, J. M.; REGUÉS, D.; ALVERA, B.; LANA-RENAULT, N.; SERRANOMUELA, P.; NADL-ROMERO, E.; NAVAS, A.; LATRON, J.; MARTÍ-BONO, C. ARNÁEZ, J. Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. **Journal of Hydrology**, v. 274, p. 30-46, 2008.

GOMES, F. E. F.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; BRASIL, P. P. Comparativo da umidade do solo de duas microbacias na caatinga, em relação ao manejo. *In*: CONGRESSO NORTE E NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 2012, Palmas. **Anais...** Palmas: CONNEPI, 2012. p. 1-5.

GRAEF, F.; HAIGIS, J. Spatial and temporal rainfall variability in the Sahel and its effects on farmers' management strategies. **Journal of Arid Environments**, v. 1, p. 221-231, 2001.

- HORNER, W. W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the American Society of Agricultural**, Saint Joseph, v. 107, p. 1039-1117, 1941.
- JOST, G.; SCHUME, H.; HAGER, H.; MARKART, G.; KOHL, B. A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 420-421, p. 112-124, 2012.
- KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.311-322, 2005.
- LI, X. Y.; CONTRERAS, S.; SOLÉ-BENET, A.; CANTÓN, Y.; DOMINGO, F.; LÁZARO, R.; LIN, H.; WESEMAEL, B. V.; PUIGDEFÁBREGAS, J. Controls of infiltration–runoff processes in Mediterranean karst rangelands in SE Spain. **Catena**, v. 86, p. 98–109, 2011.
- LIMA, C. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; BRASIL, P. P. Characteristics of rainfall and erosion under natural conditions of land use in semiarid regions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p.1222-1229. 2013.
- LIMA, Y. C. P.; LIMA NETO, I. E.; ARAUJO, J. C. Análise ex-post do assoreamento de um pequeno reservatório: Estudo de caso açude Boqueirão, Aiuaba, Ceará. *In: IX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. Anais...* Brasília, 2010. p.
- LIU, R.; WANG, J.; SHI, J.; CHEN, Y.; SUN, C.; ZHANG, P.; SHEN, Z. Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions. **Science of the Total Environment**, v. 468–469, p. 1069–1077, 2014.
- LOPES, B. L. **Deposição e decomposição de serrapilheira em área da Caatinga cearense**. 2008. 68f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- MAYOR, A. G.; BAUTISTA, S.; BELLOT, J. Scale-dependent variation in runoff and sediment yield in a semiarid Mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, v. 397, p. 128–135, 2011.
- MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÊ, I. A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 475-483, 2001.
- 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**, Campina Grande-PB, v. 11, p. 407-412, 2007.
- MONTENEGRO, A. MONTENEGRO, S. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. *In: GHEYI, H. PAZ, V. MEDEIROS, S. GALVÃO, C. Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações*. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2012, p. 258.

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

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

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

OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C. Barragem subterrânea - Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido. **Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos**, v. 3, p. 31, 2010.

PALÁCIO, H. A. Q. **Avaliação emergética de microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a diferentes manejos.** 2011. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PALÁCIO, H. A. Q.; SILVA FILHO, J. A.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; BRASIL, P. P. Uso da terra e resposta hidrossedimentológica de microbacia no semiárido. **Revista Agro@mbiente**, v. 6, p. 187-194, 2012.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RAYMER, P. C. L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PEREIRA, F. J. S. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 32-40, 2016.

PIMENTEL, J. V. F.; GUERRA, H. O. C. Semiárido, caatinga e legislação ambiental. **Prim@Facies**, v. 8, p. 104-126, 2009.

RAN, Q.; SU, D.; LI, P.; HE, Z. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. **Journal of Hydrology**, v. 424–425, p. 99–111, 2012.

RODRIGUES, J. O. **O uso da terra e a resposta hidrológica em pequenas bacias hidrográficas de regiões semiáridas.** 2009. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

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

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; MENDONÇA, L. A. R.; SANTOS, J. C. N. Sediment loss in semiarid small watershed due to the land use. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p. 488-498, 2013b.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; MENDONÇA, L. A. R. Comparativo hidrológico em pequenas bacias semiáridas. *In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO*, 2013c, Iguatu. **Anais...** Fortaleza: MASSA, 2013. p. 1-6.

RODRIGUES, R. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; SOUSA, M. M. M. Relação da chuva com o escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica no semiárido cearense. *In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO*, 2015, Quixáda. **Anais...** Fortaleza: MASSA, 2015. p. 1-6.

ROTENBERG, E.; YAKIR, D. Contribution of Semiarid forests to the climate system. **Science**, v.327, p.451-454, 2010.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.826-834, 2010.

SANTOS, J. C. N. **Mensuração da erosão do solo no semiárido em diferentes usos de terras e escalas espaciais**. 2012. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SANTOS, J. C. N.; ALCÂNTARA, H. M.; SANTOS, A. F.; LIMA, C. A. Geração de escoamento em microbacia no semiárido paraibano – brasil. *In: XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 2014, Natal. **Anais...** Natal, 2014. p. 1-10.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; BRASIL, J. B. Regimes de chuva e comportamento hidrológico em caatinga preservada no semiárido brasileiro. *In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO*, 2015, Quixáda. **Anais...** Fortaleza: MASSA, 2015. p. 1-7.

SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R. Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 813-820, 2011.

SILVA, V. D. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 163-172, 2012.

SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, p. 574-596, 2004.

SILVA, V. P. R.; BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. B. C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 547-553, 2005.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O. Erosão hídrica do solo brasileiro: A experiência da bacia experimental de Sumé. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, p. 57-73, 2003.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review.**, v. 38, p. 55-94, 1948.

LA TORRE TORRES, I. B.; AMATYA, D. M.; SUN, G.; CALLAHAN, T. J. Seasonal rainfall–runoff relationships in a lowland forested watershed in the southeastern USA. **Hydrological Processes**, v. 25, p. 2032–2045, 2011.

VIEIRA, V. P. P. B; FILHO, J. C. G. G. Água doce no Semi-árido. *In*: REBOUÇAS, A da C. et al. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p.481-505.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **A Hidrologia aplicada**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975, 245 p.

XU, Q. X.; WANG, T. W.; CAI, C. F.; LI, Z. X.; SHI, Z. H.; FANG, R. J. Responses of runoff and soil erosion to vegetation removal and tillage on steep lands. **Pedosphere**, v. 23, p. 532–541, 2013.

WEI, W.; JIA, F.; YANG, L.; CHEN, L.; ZHANG, H.; Effects of surficial condition and rainfall intensity on runoff in a loess hilly area, China, **Journal of Hydrology**, v. 513, p. 115–126, 2014.

## CAPÍTULO 1

### RESPOSTAS HIDROLÓGICAS EM MICROBACIA NA REGIÃO SEMIÁRIDA TROPICAL COM COBERTURA VEGETAL MODIFICADA

#### RESUMO

Tendo como objetivo responder ao questionamento de como o raleamento da cobertura vegetal de uma floresta tropical seca pode influenciar sobre o coeficiente de escoamento superficial, desenvolveu-se este estudo em três anos hidrológicos (2008, 2011 e 2013). O experimento foi conduzido no sertão central do estado do Ceará, Brasil. A precipitação total anual para os anos de 2008 e 2011 foram 1412 e 1416 mm respectivamente, enquanto que para o ano de 2013 a precipitação total foi de 673 mm. No ano de 2008 a cobertura vegetal era caatinga em regeneração (CReg) há 30 anos. A vegetação foi submetida ao manejo de raleamento em 2009, 2011 e 2013, eliminando-se as árvores com diâmetro inferior a 10 cm. Para investigar a resposta hidrológica em função da altura pluviométrica, os eventos foram divididos em três classes:  $P \leq 30$  mm,  $30 < P \leq 50$  mm e  $P > 50$  mm. Para identificar se os coeficientes de escoamento gerados antes e após o raleamento da vegetação apresentavam diferenças significativas, aplicou-se o teste “t” de Studart ao nível de 1%. Antes do raleamento (2008), a classe de  $P \leq 30$  mm registrou o maior percentual do coeficiente de escoamento diferindo estatisticamente ao nível de 1% de significância dos outros anos. Para eventos de grande magnitude ( $>50$  mm), o escoamento está mais dependente das características da chuva e das condições de umidade do solo. O maior desenvolvimento do estrato herbáceo devido ao raleamento resultou num impedimento ao fluxo do escoamento superficial, necessitando de maior lâmina precipitada para gerar escoamento superficial.

**Palavras-chave:** Escoamento superficial. Cobertura vegetal. Alturas pluviométricas.

## CHAPTER 1

### ANSWERS HYDROLOGICAL MICRO WATERSHED IN THE SEMI ARID REGION WITH TROPICAL VEGETATION COVER MODIFIED

#### ABSTRACT

Aiming to answer the question of how the thinning of the vegetation cover of a dry tropical forest can influence on the runoff coefficient, this study was developed in three hydrological years (2008, 2011 and 2013). The experiment was conducted in the central hinterland of the state of Ceará, Brazil. The total annual precipitation for the years 2008 and 2011 were in 1412 and 1416 mm respectively, while for the year 2013 the total precipitation was 673 mm. In 2008 the vegetation was scrub regenerating (CReg) 30 years ago. The vegetation was submitted to the management of thinning in 2009, 2011 and 2013, eliminating the trees with a diameter less than 10 cm. To investigate the hydrological response time as a function of rainfall, the events are divided into three classes:  $P \leq 30$  mm,  $30 < P \leq 50$  mm and  $P > 50$  mm. To identify whether the flow coefficients generated before and after the thinning vegetation presented significant differences, applied to the test "t" Student the level of 1%. Before thinning (2008), the class of  $P \leq 30$  mm recorded the highest percentage of runoff coefficient were significantly different at the 1% level of significance for other years. For large magnitude events ( $> 50$  mm), the flow is more dependent on rain characteristics and soil moisture conditions. Further development of the stratum herbaceous due to thinning resulted in impediment to the runoff flow, requiring larger blade hasty to generate runoff.

**Keywords:** Superficial flow. Vegetal cover. Rainfall heights.

## 1 INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas compreendem aproximadamente 17,7% do globo terrestre podendo ainda aumentar em função de alterações no ciclo hidrológico (ROTENBERG e YAKIR, 2010). Também é uma região que apresenta um clima bastante irregular, como características naturais desse tipo de clima é a ocorrência de precipitações pluviiais irregulares e mal distribuídas geograficamente (SILVA et al., 2012).

Outra característica das regiões semiáridas principalmente o semiárido tropical, como o Nordeste brasileiro, é que os cursos de água (rios ou riachos) que escoam são quase todos de caráter intermitente ou efêmeros (OLIVEIRA et al., 2010). O que torna essa região frágil quanto a disponibilidade hídrica em épocas de estiagens prolongadas ou secas. O manejo inadequado dos recursos naturais em microbacias nestas regiões pode proporcionar sérios reflexos negativos, como alterações das respostas hidrológicas, erosão em áreas agrícolas e redução da capacidade hidráulica de reservatórios (ARAÚJO et al., 2006).

Sabe-se que a intensificação da exploração do homem sobre os recursos naturais tem gerado a degradação do solo, dos recursos hídricos, remoção da vegetação e perda da biodiversidade, que somados aos fatores climáticos podem resultar em modificações significativas dos processos hidrológicos, notadamente no processo chuva-deflúvio. Além disso o escoamento superficial em zonas áridas e semiáridas, é caracterizado pela alta variabilidade espacial e temporal. Ele, em grande parte, está associado à alta heterogeneidade espacial da tipologia da superfície do solo, como a cobertura vegetal, os fragmentos de rocha, a topografia, as crostas e os atributos do solo (CANTÓN et al., 2011; CHAMIZO et al., 2012; JOST et al., 2012).

Dos fatores mencionados, a cobertura vegetal é uma das variáveis de maior influência na resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica como argumentado por Muñoz-robles et al. (2011) e Montenegro et al. (2013). Autores como Rodrigues et al. (2013b) verificaram a influência da vegetação nas respostas hidrológicas de microbacias monitoradas no semiárido brasileiro, sendo os efeitos maiores sobre os primeiros eventos hidrológicos da estação chuvosa, destacando também a influência da umidade antecedente. Em relação também quanto a influência da vegetação no escoamento, em estudos realizados na Noruega, Jost et al. (2012) sugerem que diferentes espécies de árvores podem levar a diferentes respostas chuva-vazão no mesmo tipo de solo.

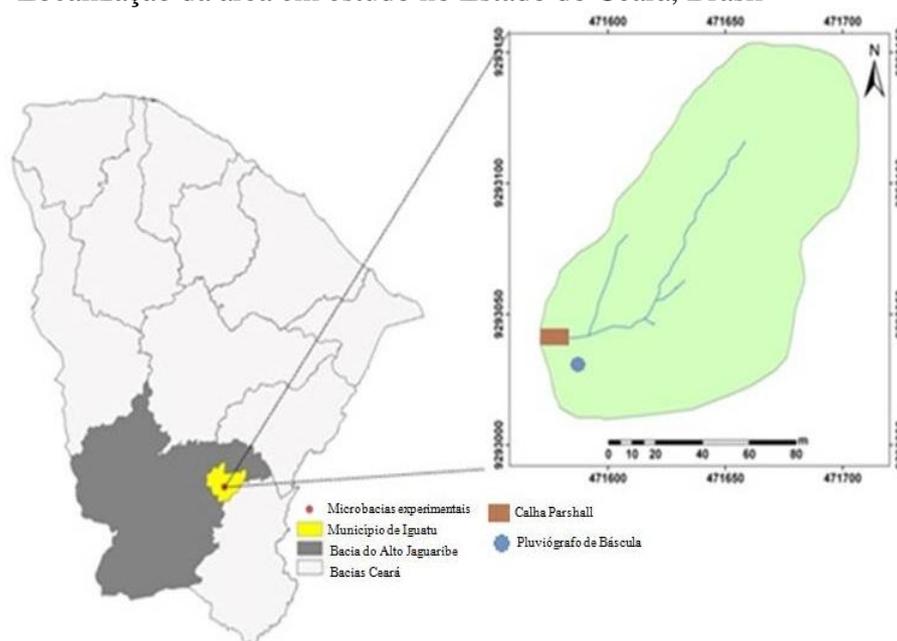
Apesar do desenvolvimento de alguns estudos hidrológicos conduzidos no semiárido, pesquisas ainda são escassas no sentido de gerar informações em escala de

microbacias rurais de escoamento efêmero. Principalmente devido aos diversos fatores que exercem influência sobre o mesmo, como averiguado por Chamizo et al. (2012). Mesmo diante disso, é de fundamental importância compreender a relação desses fatores (chuva, cobertura vegetal) para o manejo e conservação da água e do solo na bacia hidrográfica (PENG; WANG, 2012). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar como precipitações de diferentes classes ( $P \leq 30$  mm,  $30 < P \leq 50$  mm e  $P > 50$  mm) influenciam na geração de escoamento superficial em microbacia do semiárido cearense, antes e após o raleamento da caatinga, em regeneração há 30 anos, verificando a influência da vegetação sobre a precipitação efetiva.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no Semiárido Cearense, na sub-bacia do Alto Jaguaribe, localizada entre as coordenadas geográficas 6°23'38'' a 6°23'58'' S e 39°15'21'' a 39°15'38'' W, com altitude de 217,8 m (Figura 7). A área experimental pertence ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Iguatu.

Figura 7 – Localização da área em estudo no Estado do Ceará, Brasil



O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente) com temperatura média mensal sempre superior a 18 °C no mês mais frio. O Índice de Aridez elaborado por Thornthwaite (1948) é de 0,44 classificando-se como semiárido. A evapotranspiração potencial média é de 1.988 mm ano<sup>-1</sup>, a precipitação média histórica no município de Iguatu é de 867 ± 304 mm (RODRIGUES et al., 2013a).

O solo da microbacia experimental em estudo é classificado como Vertissolo Ebânico Carbonático Típico de acordo com a classificação da Embrapa (2013). A classe textural é franco argilosa com 27,4% de areia, 42,5% de silte e 30% de argila, com uma condutividade hidráulica saturada inferior a 0,2 mm h<sup>-1</sup>. Devido ao tipo de argila presente nos solos (2:1, grupo montmorilonita) é comum o surgimento de rachaduras na superfície nas épocas secas do ano, e encharcamento no período chuvoso, conforme averiguações de Rodrigues et al. (2013a).

No primeiro ano de estudo (2008), a cobertura vegetal da microbacia foi mantida inalterada (Tabela 5), composta de Caatinga em regeneração há 30 anos, com caráter variável, desde espécies de porte herbáceo a arbóreo-arbustivo, tipicamente caducifólio de caráter xerófilo e presença de grande variedade de espécies espinhosas. Nos dois anos seguintes (2009 e 2011) a área foi raleada para produção de pastagem natural, prática recomendada para manejo silvo pastoril no semiárido brasileiro. Nesse manejo foram eliminadas as espécies vegetais com diâmetro < 10 cm. Assim o manejo da cobertura vegetal tem como propósito de verificar a influência do raleamento da caatinga sobre os processos hidrológicos (escoamento superficial) em pequena bacia rural.

Tabela 5 – Características da cobertura vegetal da microbacia ao longo do período estudado

Microbacia	Cobertura Vegetal		
	2008	2011	2013
Vegetação	Caatinga em regeneração há 30 anos	Raleada	Raleada

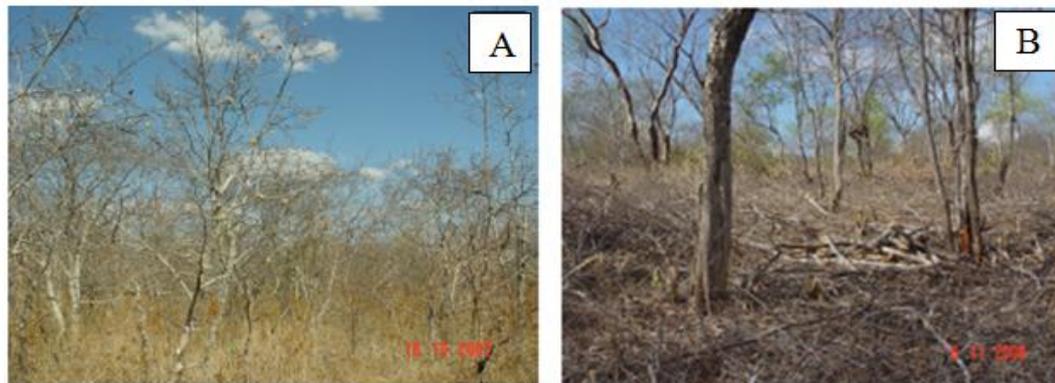
As Figuras 8A e 8B mostram as condições de vegetação antes e depois do manejo, enquanto as Figuras 9A e 9B representam as mesmas condições durante a estação seca, período em que o raleamento foi aplicado (novembro/2008). Trata-se de uma microbacia de 1ª ordem (Tabela 6) e declividade suave ondulado.

Figura 8 – Visão parcial das condições de vegetação da microbacia experimental, antes (A) e depois (B) do raleamento



Fonte: Araújo Neto (2012).

Figura 9 – Visão parcial das condições de vegetação da microbacia experimental, na estação seca antes (A) e depois (B) do raleamento



Fonte: Eunice Maia de Andrade.

Fonte: Ana Célia Maia Meireles.

Tabela 6 – Características morfométricas da microbacia experimental

Variável	Microbacia Raleada	Unidades
Área da bacia (Ab)	1,15	ha
Perímetro (P)	478,35	m
Comprimento do curso princ. (Lcp)	147,18	m
Comprimento da bacia (Lb)	188,17	m
Declividade da bacia (Db)	8,72	%
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,25	-
Tempo de concentração (Tc)	0,05	h
Sinuosidade do curso principal (Sin)	1,2	-

Fonte: Alves (2008).

Foram considerados os eventos pluviométricos ocorridos nos anos de 2008, 2011 e 2013 que geraram escoamento. Foi utilizado o ano de 2008 devido ser o ano em que a cobertura vegetal da microbacia era representativa de uma caatinga em regeneração há 30 anos. Nos outros dois anos selecionados a área já havia sido submetida ao raleamento. Visto que também foram anos que apresentaram eventos pluviométricos extremos (altas lâminas precipitadas), sendo utilizados dessa forma para identificar as alterações ocorridas na resposta hidrológica em função da altura pluviométrica sob o manejo empregado. Para investigar o efeito da cobertura vegetal e a altura pluviométrica sobre o escoamento superficial, os eventos foram divididos em três classes:  $P \leq 30$  mm,  $30 < P \leq 50$  mm e  $P > 50$  mm, como sugerido por Andrade et al. (2013), analisados antes e após a aplicação do manejo.

O monitoramento hidrológico da microbacia foi realizado a partir de uma estação automática, com registro a cada cinco minutos, sendo os dados pluviométricos obtidos pelo pluviógrafo de báscula (Figura 10A) e os de escoamento superficial através da calha Parshall (Figura 10B), equipada com linígrafo automático para medição do deflúvio. De posse das

cotas registradas no sensor converteu-se a altura da água em vazão mediante equação específica da calha. Os dados de vazão correlacionados com o tempo proporcionaram a geração de hidrógrafas para cada evento de chuva correspondente. Os deflúvios superficiais monitorados nas calhas Parshall foram convertidos posteriormente em volume escoado.

Figura 10 – Modelo do pluviógrafo (A) e calha Parshall (B) instalados na microbacia experimental



Fonte: Ana Célia Maia Meireles.



Fonte: Joseilson Oliveira Rodrigues.

Os dados de coeficiente de escoamento (razão entre o deflúvio e a precipitação) foram submetidos ao teste de média (Teste T) a 1% de significância. O procedimento estatístico foi realizado utilizando-se o aplicativo estatístico “Statistical Package for Social Sciences” (SPSS) v.16.0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os três anos hidrológicos estudados a precipitação anual apresentou-se de forma irregular, variando muito em torno da média. Os dois primeiros anos estudados apresentaram precipitações anuais superiores à média histórica (Tabela 7), sendo que o último ano de estudo (2013) apresentou precipitação anual abaixo da média, correspondendo a menos de 50% do que choveu em cada um dos anos anteriores. Tal fato confirma a alta variabilidade temporal dos eventos, como já discutido por Guerreiro et al. (2013). Embora os totais precipitados para os anos de 2008 e 2011 sejam similares, a razão entre o número de eventos de precipitação ocorridos é de 0,76, apontando que inferências com base no total anual precipitado para estas regiões devem ser efetuadas com cautela ou complementadas com análises de números de eventos ou a presença de dias consecutivos secos (RODRIGUES et al., 2008; ANDRADE et al., 2010; SANTOS et al., 2014). Do total de 140 eventos de precipitação pluviométrica registrados na microbacia, 26% (36 eventos) gerou escoamento superficial (Tabela 7), com a seguinte distribuição temporal: 33%, 61% e 6% dos eventos ocorridos nos anos de 2008, 2011 e 2013, respectivamente.

Tabela 7 – Síntese hidrológica da microbacia experimental para o período em estudo

Ano	Nº eventos chuvosos	Nº de eventos geradores de escoamento	P. Total (mm)	P* (mm)	Pe (mm)	C (%)
2008	47	12	1.412,0	404,7	87,8	27,1
2011	62	22	1.416,8	849,3	143,3	13,0
2013	31	2	673,3	202,0	57,6	31,0
Total	140	36		1.455,9	288,6	23,7

P\* = total precipitado que gerou a Pe; Pe = escoamento anual; C = coeficiente de escoamento médio dos eventos geradores de escoamento.

Uma vez que em 2008 a cobertura vegetal da bacia experimental era a caatinga em regeneração há 30 anos (CReg30), esperava-se que o menor coeficiente de escoamento médio fosse registrado para este ano. No entanto, o ano após o raleamento (2011), que teve total precipitado similar, o coeficiente de escoamento (C) foi inferior em mais de 50% do registrado em 2008 (Tabela 7). Este resultado, o qual foi de encontro ao esperado, pode ser explicado pelo surgimento do estrato herbáceo em função do raleamento (Figura 8B). A retirada das árvores com diâmetro < 10 cm favoreceu a maior penetração de energia e luz solar pelo dossel das árvores, com conseqüente germinação do banco de sementes herbáceas

presente no solo da caatinga. O maior desenvolvimento da vegetação herbácea na microbacia depois de raleada (Figura 8B) em relação à CP30 (Figura 8A) reduziu a velocidade do fluxo de massa e conseqüentemente um maior tempo de oportunidade de infiltração e uma menor lâmina de escoamento (LA TORRE TORRES et al., 2011, RODRIGUES et al., 2013b). Tal processo resultou em uma maior retenção de água no solo na microbacia, como identificado por Araújo Neto et al. (2013).

Apesar dos anos 2008 e 2011 apresentarem a mesma altura pluviométrica anual, os respectivos anos se distinguiram quanto ao número de eventos chuvosos. No ano de 2011 foi registrado um número de eventos pluviométricos superior ao de 2008 em 32%. Tal fato evidencia que as precipitações ocorridas em 2011 foram maiores em números de eventos, porém de menor altura pluviométrica e menor coeficiente de escoamento, quando comparado as precipitações de 2008. Um menor coeficiente de escoamento expressa um maior percentual de água infiltrada, resultando em uma maior umidade do solo. Relações entre umidade do solo e lâminas escoadas também foram constatadas por Bertol et al. (2007) e Araújo Neto et al. (2013). Acredita-se que não só a distribuição das chuvas tenha definido o menor escoamento superficial, mas também o surgimento do estrato herbáceo em decorrência do raleamento vegetal, como discutido por Palácio (2011). A maior densidade do estrato herbáceo pode ocasionar um aumento no tempo de oportunidade para infiltração da água no solo, reduzindo assim o escoamento superficial.

No ano de 2013 ocorreram apenas dois eventos pluviométricos que geraram escoamento superficial. Apesar de ser somente dois eventos, os mesmos resultaram no maior coeficiente de escoamento (31%) (Tabela 7). Devido a alta magnitude desses dois eventos, bem como o elevado tempo de retorno, o comportamento hidrológico desses eventos acabou sendo diferente. Portanto, o conhecimento das características e distribuição das chuvas é essencial no entendimento do escoamento (SANTOS et al., 2011).

Os eventos de chuvas nas três classes de alturas pluviométricas (Tabela 8) apresentaram uma assimetria na distribuição dos eventos com uma maior concentração para a classe de  $P \leq 30$  mm nos três anos investigados. Dos 47, 62 e 31 eventos chuvosos (Tabela 7) ocorridos nos anos 2008, 2011 e 2013, respectivamente, 64%, 71% e 71% foram inferiores ou igual a 30 mm (Tabela 8). Durante o ano de 2013, apenas dois eventos maiores que 50 mm promoveram escoamento, ou seja, neste ano os escoamentos ocorridos foram originários de eventos extremos. O fator limite do regime pluviométrico na região semiárida não é o total precipitado, mas sim a incerteza de como os eventos de chuva se processarão no tempo e no espaço (ANDRADE et al., 2010).

Tabela 8 – Distribuição dos eventos de chuva para as classes estudadas

Ano	P Total	P* (mm)	Classes de Altura Pluviométrica					
			P ≤ 30 mm		30 < P ≤ 50 mm		P > 50 mm	
			Nº de eventos	Eventos p/Q > 0	Nº de eventos	Eventos p/Q > 0	Nº de eventos	Eventos p/Q > 0
2008	1.412	404,7	30	7	9	2	8	3
2011	1.416	849,3	44	9	11	6	7	7
2013	673,3	202,0	22	0	7	0	2	2

P\* = total precipitado que gerou a Pe.

Embora os eventos pluviométricos maiores que 50 mm apresentam uma menor frequência, 17%, 11% e 6% dos eventos chuvosos (Tabela 8) para os anos de 2008, 2011 e 2013, respectivamente, esta classe expressa um maior percentual de eventos que geraram escoamento. Essas respostas são características das regiões semiáridas, onde as maiores precipitações se concentram em poucos eventos (ANDRADE et al., 2010; RODRIGUES et al., 2008).

Para a classe de  $P \leq 30$  mm no ano de 2008, a precipitação total de 76,78 mm gerou um escoamento de 23,8 mm. Já no ano de 2011, após o raleamento da caatinga, com uma precipitação total de 193,34 mm, na classe  $P < 30$  mm, obteve-se apenas 13,48 mm de escoamento superficial (Tabela 9). Devido o raleamento da caatinga a vegetação herbácea formou uma densa camada gerando mais barreira ao escoamento e, portanto, uma maior oportunidade de infiltração, daí a redução no escoamento nesse determinado ano. A cobertura vegetal tem demonstrado ser uma das variáveis de maior influência na resposta hidrológica de uma bacia (MUÑOZ-ROBLES et al., 2011; JOST et al., 2012; LIU et al., 2014).

Tabela 9 – Precipitação, lâmina escoada e coeficiente de escoamento gerado nas classes estudadas

Ano	Classes de Altura Pluviométrica								
	P ≤ 30 mm			30 < P ≤ 50 mm			P > 50 mm		
	P* (mm)	Pe (mm)	C (%)	P* (mm)	Pe (mm)	C (%)	P* (mm)	Pe (mm)	C (%)
2008	76,7	23,8	35,7	71,6	4,0	5,7	256,3	59,99	21,1
2011	193,3	13,4	7,2	226,8	9,9	4,3	429,0	119,86	27,7
2013	0	0	0	0	0	0	201,8	57,60	31,0

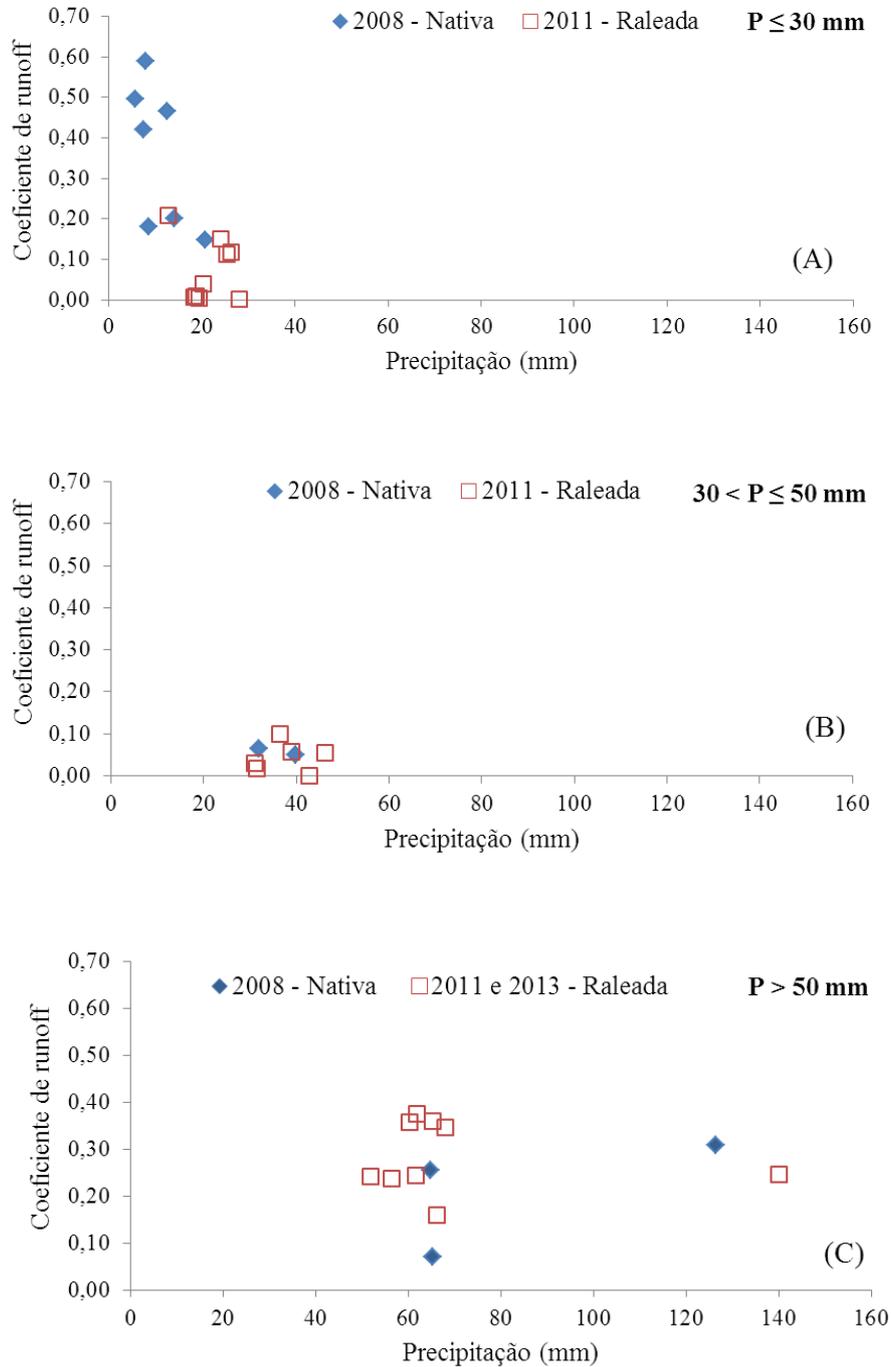
P\* = Total precipitado que gerou a Pe na determinada classe de precipitação; Pe = Lâmina escoada gerada na classe de precipitação; C = Coeficiente de escoamento médio dos eventos na classe de precipitação.

Avaliando-se o coeficiente de escoamento entre as três classes de precipitação antes (2008) e após o raleamento (2011 e 2013) (Tabela 9), observa-se que, com exceção da classe  $P > 50$  mm, a alteração da cobertura vegetal reduziu o escoamento superficial. Para a classe  $P \leq 30$  mm a redução foi de 35,7 para 7,2% e para a classe  $30 < P \leq 50$  mm foi de 5,7 para 4,3%. Tal decréscimo se explica pela maior luminosidade disponível para o desenvolvimento do banco de sementes das herbáceas presentes na caatinga em decorrência do raleamento. Uma redução do escoamento superficial em áreas com a presença de um estrato herbáceo bem desenvolvido foi identificado por Rodrigues et al. (2013a). Ainda pela Tabela 9 fica evidente o requerimento de maiores lâminas precipitadas (193,3 e 226,8 mm) para gerar escoamento nas duas primeiras classes em virtude do estrato herbáceo.

Os resultados evidenciam que o surgimento do estrato herbáceo após o raleamento pode interferir sobre o escoamento superficial para precipitações inferiores a 50 mm. Para precipitações maiores que 50 mm, a resposta hidrológica é definida pelas características dos eventos extremos de precipitação (Tabela 9). Casermeiro et al. (2004) verificaram que a resposta hidrológica está relacionada não somente ao percentual da cobertura vegetal, mas também ao arranjo da estrutura e da fisionomia das plantas (extrato herbáceo ou arbóreo), que promovem diferentes valores de intercepção da chuva e do fluxo de massa.

Observa-se uma maior inferência da cobertura vegetal no coeficiente de escoamento para a classe  $P \leq 30$  mm (Figura 11). No ano em que a microbacia foi mantida com a cobertura de Caatinga em regeneração (2008), foram registrados os maiores coeficientes de escoamento 0,58; 0,49; 0,46 e 0,42 sendo que a maior precipitação registrada foi de 20 mm (Figura 11A). Já para o ano de 2011 os coeficientes de escoamento foram inferiores a 0,20 sendo em quase sua totalidade as lâminas precipitadas superiores a 20 mm (Figura 11B). Para a classe de precipitação  $30 < P \leq 50$  mm não foi tão evidente a ação da vegetação herbácea, no entanto para  $P \leq 30$  mm nota-se ser necessário maiores lâminas precipitadas para gerar coeficiente de escoamento depois de raleada (Figura 11A).

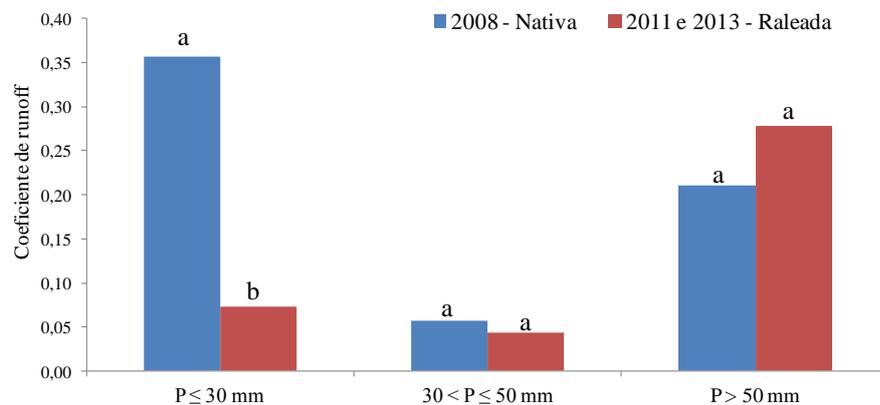
Figura 11 – Relação entre coeficiente de runoff e precipitação na escala de evento para a microbacia em estudo sobre diferentes classes de precipitação



Na classe de precipitações maiores que 50 mm, não se identificou a inferência da cobertura vegetal sobre o coeficiente de escoamento (Figura 11C), confirmando-se mais uma vez a hipótese de que em eventos extremos, a resposta hidrológica é definida pelas características do evento e das condições de umidade do solo e não da cobertura vegetal.

Autores como LA TORRE TORRES et al. (2011) e Ran et al. (2012) estudaram as correlações entre os valores do escoamento e da característica da precipitação pluviométrica, mas não definiram valores de precipitação e intensidade para que ocorra ou não a geração de escoamento. Para identificar se a redução do coeficiente de escoamento nas duas primeiras classes era significativa, aplicou-se o teste “t” a 1% de significância (Figura 12).

Figura 12 – Média do coeficiente de escoamento sobre diferentes classes de precipitação



\* Médias seguidas de letra minúscula distintas, diferem entre si no par de barras pelo Teste T a 1% de significância.

A análise acima reforça a premissa de que a cobertura vegetal influencia na resposta do escoamento, sendo a redução significativa ao nível de 1% somente para precipitações menores que 30 mm. Indicando assim que o processo de escoamento superficial para precipitações  $30 < P \leq 50$  mm e  $P > 50$  mm passam a ter uma menor inferência da cobertura vegetal, sendo determinados assim por outros fatores (ANDRADE et al., 2013). A redução do escoamento superficial para precipitações inferiores a 30 mm promovida pelo estrato herbáceo em áreas raleadas expressa a importância que essa cobertura vegetal desempenha na influência da retenção de água no solo e controle das perdas de água por escoamento.

#### 4 CONCLUSÃO

O manejo de raleamento provocou reduções significativas nos coeficientes de escoamento para eventos menores que 30 mm exercendo uma maior inferência para essa determinada classe de precipitação.

Para eventos de grande magnitude (>50 mm) o escoamento é mais dependente das características da chuva do que da cobertura vegetal.

O maior desenvolvimento do estrato herbáceo devido ao raleamento resultou num impedimento ao fluxo do escoamento superficial, necessitando de maior lâmina precipitada para gerar escoamento.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, N. N. L. **Caracterização de microbacia hidrográfica experimental no semiárido brasileiro como suporte a estudos da degradação**. 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- ANDRADE, D. E.; ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO H. A. Q.; RODRIGUES J. O.; SANTOS, J. C. N. Escoamento superficial versus manejo da vegetação em microbacias do semiárido. *In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO*, 2013, Iguatu. **Anais...** Fortaleza: MASSA, 2013. p. 1-7.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q., 2010. **O semiárido cearense e suas águas**. In: Andrade, E. M., Pereira, O. J., Dantas, F. E. R. (Eds.) *O Semiárido e o manejo dos recursos naturais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, pp 71-94.
- ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; SANTOS, J. C. N.; LOBATO, F. A. O. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, p. 111-120, 2013.
- ARAÚJO NETO, J. R. **Efeito de diferentes manejos sobre o escoamento superficial em microbacias experimentais no semiárido tropical**. 2012. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ARAÚJO, J. C.; GUNTNER, A.; BRONSTET, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v.51, p.157-170, 2006.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados as perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 133- 142, 2007.
- CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; VENTE, J.; BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; ASENSIO, C.; PUIGDEFÁBREGAS, J. A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 1254-1261, 2011.
- CASERMEIRO, M. A.; MOLINA, J. A.; CARAVACA, M. T. D. L.; COSTA, J. H.; MASSANET, M. I. H.; MORENO, P. S. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. **Catena**, v. 57, p. 91–107. 2004.
- CHAMIZO, S.; CANTÓN, Y.; RODRÍGUEZ-CABALLERO, E.; DOMINGO, F.; ESCUDERO, A. Runoff at contrasting scales in a semiarid ecosystem: A complex balance between biological soil crust features and rainfall characteristics. **Journal of Hydrology**, v.452–453, p.130–138, 2012.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013, 353 p.

GUERREIRO M. J. S.; ANDRADE, E. M.; ABREU, I.; LAJINHA, T. Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 2929–2939, 2013.

JOST, G.; SCHUME, H.; HAGER, H.; MARKART, G.; KOHL, B. A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 420-421, p. 112-124, 2012.

LIU, R.; WANG, J.; SHI, J.; CHEN, Y.; SUN, C.; ZHANG, P.; SHEN, Z. Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions. **Science of the Total Environment**, v. 468–469, p.1069–1077, 2014.

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

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109, p.139-149, 2013.

OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C. Barragem subterrânea - Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido. **Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos**, v. 3, p. 31, 2010.

PALÁCIO, H. A. Q. **Avaliação emergética de microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a diferentes manejos**. 2011. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PENG, T.; WANG S. Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in southwest China. **Catena**, v.90, p.53–62, 2012.

RAN, Q.; SU, D.; LI, P.; HE, Z. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. **Journal of Hydrology**, v. 424–425, p. 99–111, 2012.

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

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, T. S.; LOBATO, F. A. O. Equações de Intensidade Duração Frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agraria**, v.9, p.511 - 520, 2008.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; MENDONÇA, L. A. R.; SANTOS, J. C. N. Sediment loss in semiarid small watershed due to the land use. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p. 488-498, 2013b.

ROTENBERG, E.; YAKIR, D. Contribution of Semiarid forests to the climate system. **Science**, v.327, p.451-454, 2010.

SANTOS, J. C. N.; ALCÂNTARA, H. M.; SANTOS, A. F.; LIMA, C. A. Geração de escoamento em microbacia no semiárido paraibano – brasil. *In: XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 2014, Natal. **Anais...** Natal, 2014. p. 1-10.

SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R. Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 813-820, 2011.

SILVA, V. D. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 163-172, 2012.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review.**, v. 38, p. 55-94, 1948.

LA TORRE TORRES, I. B.; AMATYA, D. M.; SUN, G.; CALLAHAN, T. J. Seasonal rainfall–runoff relationships in a lowland forested watershed in the southeastern USA. **Hydrological Process**, v. 25, p. 2032–2045, 2011.

## CAPÍTULO 2

### ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM MICROBACIAS E SUAS RELAÇÕES COM COBERTURA VEGETAL E PADRÕES DE CHUVAS

#### RESUMO

O presente estudo teve como objetivo investigar a relação chuva deflúvio com eventos de precipitações  $\leq 30$  mm em duas microbacias adjacentes com uso da terra distinto, localizadas no semiárido cearense. Os usos da terra investigados foram: caatinga em regeneração há 35 anos (CReg35) e caatinga raleada (CRal). O raleamento consistiu na eliminação de árvores com diâmetro inferior a 10 cm. O estudo considerou os eventos que geraram escoamento durante a estação chuvosa para o período de 2009 à 2013. Os eventos de precipitação foram classificados nos padrões: chuvas avançadas, intermediárias e atrasadas. O raleamento proporcionou uma redução no escoamento total anual ( $P \leq 30$  mm), de 46,2% em relação ao da CReg35. O coeficiente de escoamento médio foi de 10,43% para a microbacia com CReg35 e 6,01% para a CRal. A resposta do escoamento perante os padrões de chuvas seguiu uma mesma tendência em ambas as microbacias, com maiores precipitações efetivas registradas para padrões intermediário seguido do atrasado e avançado, mas sempre a CRal apresentando menores  $P_e$ . O estrato herbáceo existente na CRal reduziu o fluxo superficial, o que resultou em uma menor precipitação efetiva nos diferentes padrões de chuvas quando comparada com a CReg35.

**Palavras-chave:** Escoamento superficial. Cobertura vegetal. Padrão de chuva.

## CHAPTER 2

### SURFACE FLOW IN WATERSHEDS AND ITS RELATIONS WITH VEGETATION COVER AND RAINFALL PATTERNS

#### ABSTRACT

This study was aimed to investigate the relationship between rain runoff with rainfall events  $\leq 30$  mm in two adjacent watersheds with use of different land, located in Ceará semiarid region. The types of land investigated were: caatinga in regeneration for 35 years (CReg35) and thinned caatinga (CRal). The thinning consisted in removing trees with diameter less than 10 cm. The study considered the events that led to runoff during the rainy season for the period 2009 to 2013. The precipitating events were classified in the standards: advanced, intermediate and late rains. The thinning provided a reduction in total annual runoff ( $P \leq 30$  mm), 46.2% compared to the CReg35. The average flow rate was 10.43% for the watershed with CReg35 and 6.01% for the CRal. The response of the flow before the rainfall patterns followed the same trend in both watersheds, with higher effective rainfall recorded for intermediate patterns followed by the backward and forward, but always CRal presenting lower flow. The stratum herbaceous that exists in CRal reduced surface flow, resulting in a lower effective precipitation of rainfall in different patterns as compared to CReg35.

**Keywords:** Superficial flow. Vegetal cover. Rainfall patterns.

## 1 INTRODUÇÃO

O escoamento superficial de uma bacia hidrográfica pode ser considerado como o produto residual do ciclo hidrológico, o qual é influenciado por três grandes grupos de fatores: clima, fisiografia e uso do solo (LIMA, 2010). O conhecimento deste processo é de fundamental importância, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligado ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento.

Dos fatores mencionados anteriormente, a cobertura vegetal tem demonstrado ser uma das variáveis de maior influência na resposta hidrológica de uma bacia (JOST et al., 2012; RAN et al., 2012; LIU et al., 2014). Além da vegetação, estudos tem demonstrado que as características das chuvas como padrões e regimes tem desempenhado papel importante na geração do escoamento (PENG e WANG, 2012; FANG et al., 2012; LIMA et al., 2013), principalmente no semiárido em que os cursos de água são quase todos de caráter efêmero ou intermitente (OLIVEIRA et al., 2010).

O escoamento em zonas áridas e semiáridas é caracterizado pela alta variabilidade espacial e temporal. Espacial em função dos atributos da superfície do solo (vegetação, tipologia do solo) e temporal dependendo principalmente da variação das chuvas e da umidade antecedente (CHAMIZO et al., 2012). Portanto, diversas são as variáveis que exercem influência no escoamento em bacias hidrográficas, principalmente a chuva, por apresentar alterações em termos de intensidade, altura pluviométrica e frequência. Estudos realizados em bacias hidrográficas têm buscado respostas quanto aos fatores envolvidos na geração do escoamento (JAMES e ROULET, 2009; MAYOR et al., 2011; CANTÓN et al., 2011; RAN et al., 2012).

Araújo Neto et al. (2013b), estudando a geração do escoamento em diferentes escalas espaciais no semiárido, verificou que eventos com alturas pluviométricas superiores a 29 mm e 16,5 mm para a microbacia e parcela de 20 m<sup>2</sup>, respectivamente, independente da umidade do solo, sempre gera escoamento superficial. Santos et al. (2014), estudando o escoamento em uma microbacia na Paraíba, detectaram que precipitações superiores a 80 mm, independentemente do número de dias consecutivos secos, foram capazes de gerar escoamento em 81% dos casos. Já, de acordo com Figueiredo (2011), estudando a Bacia Experimental de Aiuaba, numa área de 7,7 km<sup>2</sup> no semiárido brasileiro, constatou que eventos de precipitação superiores a 47,5 mm, independente da umidade antecedente, sempre geraram escoamento. No entanto, para precipitações menores, esses autores não conseguiram

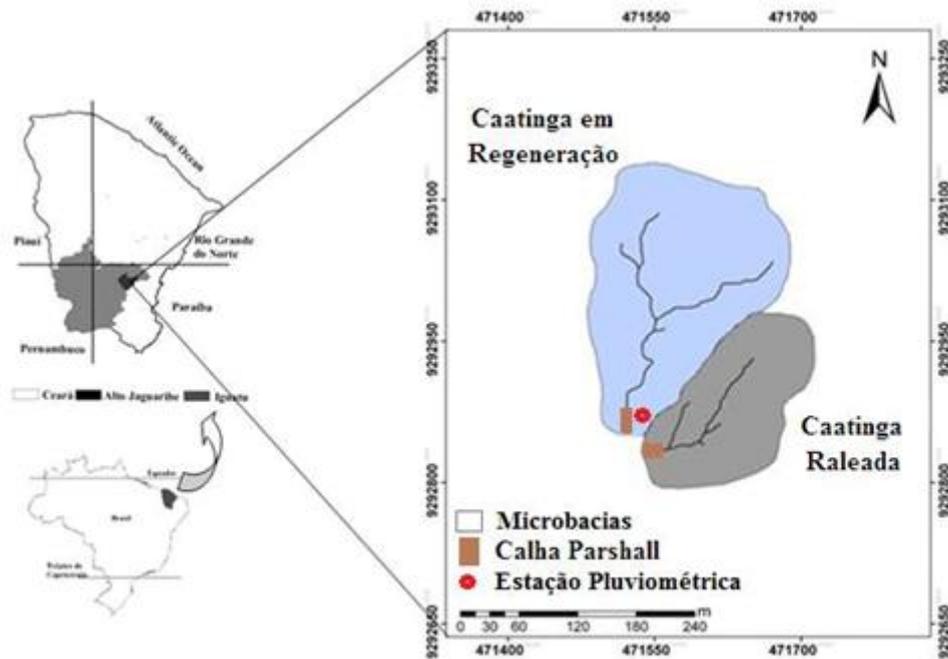
estabelecer uma relação unívoca. Os respectivos autores não encontraram respostas definitivas para a geração do escoamento para pequenas alturas pluviométricas.

Visto que, o fator limite na região semiárida não é somente a altura pluviométrica total, mas também a incerteza de como os eventos de chuva se processarão no tempo e no espaço (ANDRADE et al., 2010); bem como o maior número de eventos que gera escoamento superficial apresenta altura pluviométrica  $< 30$  mm (ANDRADE et al., 2013), elaborou-se o questionamento: qual o comportamento hidrológico de microbacias à alturas pluviométricas  $\leq 30$  mm? Diante disso, objetivou-se investigar a relação chuva-deflúvio com eventos de precipitações pluviométricas  $\leq 30$  mm em duas microbacias adjacentes com uso da terra distinto, localizadas no semiárido cearense.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no Semiárido Cearense, na sub-bacia do Alto Jaguaribe, área experimental pertence ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Iguatu, sendo composta por duas microbacias adjacentes e similares (Figura 13).

Figura 13 – Localização das microbacias em estudo no município de Iguatu, Ceará, Brasil



O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente) com temperatura média mensal sempre superior a 18 °C no mês mais frio. O Índice de Aridez elaborado por Thornthwaite (1948) é de 0,44 classificando-se como semiárido. A evapotranspiração potencial média é de 1.988 mm ano<sup>-1</sup>, a precipitação média histórica no município de Iguatu é de 867 ± 304 mm (RODRIGUES et al., 2013).

A composição da vegetação é tipicamente Caatinga, com caráter variável, desde espécies de porte herbáceo a arbóreo-arbustivo, tipicamente caducifólio de caráter xerófilo com grande variedade de espécies espinhosas (PEREIRA JÚNIOR et al., 2016). O solo na área experimental em ambas as microbacias, possui a mesma classificação morfológica, sendo classificado como Vertissolo Ebânico Carbonático Típico, segundo a classificação da EMBRAPA (2013). A classe textural é franco argilosa com 27,4% de areia, 42,5% de silte e 30% de argila, com uma condutividade hidráulica saturada inferior a 0,2 mm h<sup>-1</sup>. Devido ao tipo de argila presente nos solos 2:1 (grupo montmorilonita) é comum o surgimento de

rachaduras na superfície nas épocas secas do ano, e encharcamento no período chuvoso, conforme averiguações de Rodrigues et al. (2013).

Uma das bacias foi mantida durante todo o período de estudo com a cobertura vegetal nativa, floresta caducifólia, Caatinga em regeneração (CReg35) (Figura 14A). A segunda microbacia teve a sua cobertura vegetal raleada (CRal) (Figura 14B), sendo eliminadas as árvores com diâmetro inferior a 10 cm. Este manejo promoveu uma maior penetração de luz com conseqüente desenvolvimento do estrato herbáceo (PALÁCIO, 2011). As características morfométricas das microbacias experimentais estudadas podem ser verificadas na Tabela 10.

Figura 14 – Detalhes da vegetação herbácea nas microbacias experimentais no período chuvoso: (A) Caatinga em regeneração há 35 anos; (B) Vegetação raleada



Fonte: Andrade et al. (2013).

Tabela 10 – Características morfométricas das microbacias experimentais

Características	CReg35	CRal	Unidades
Área da bacia	2,06	1,15	ha
Perímetro	594,50	478,35	m
Comprimento do curso principal	252,11	147,18	m
Comprimento da bacia	204,20	188,17	m
Declividade da bacia	10,59	8,72	%
Coeficiente de compacidade	1,16	1,25	-
Tempo de concentração	0,06	0,05	h
Sinuosidade do curso principal	2,06	1,20	-

Fonte: Alves (2008)

No estudo foram considerados os eventos pluviométricos ocorridos na estação chuvosa no período de cinco anos (2009 a 2013). Foram selecionados os eventos pluviométricos com  $P \leq 30$  mm que geraram escoamento, visto que essa classe pluviométrica representa o maior número de eventos que gera escoamento superficial (ANDRADE et al.,

2013). O monitoramento hidrológico das microbacias foi realizado a partir de estações automáticas, com registro a cada cinco minutos, sendo os dados pluviométricos obtidos pelo pluviógrafo de báscula (Figura 15A) e os de escoamento superficial através da calha Parshall (Figura 15B), equipada com linígrafo automático para medição do deflúvio. De posse das cotas registradas no sensor converteu-se a altura da água em vazão mediante equação específica da calha. Os dados de vazão correlacionados com o tempo proporcionaram a geração de hidrógrafas para cada evento de chuva correspondente. Os deflúvios superficiais monitorados nas calhas Parshall foram convertidos posteriormente em volume escoado.

Figura 15 – Modelo do pluviógrafo (A) e calha Parshall (B) instalados na microbacias experimentais



Fonte: Ana Célia M. M.

Fonte: Joseilson Oliveira Rodrigues

Tendo-se por base a metodologia desenvolvida por Mehl et al. (2001), os dados pluviométricos foram classificados nos seguintes padrões: avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT), de acordo com a posição do pico de maior intensidade (intensidade máxima durante 5 min -  $I_5 \text{ max}$ ) em relação ao tempo total do evento. O padrão avançado (AV) é aquele em que a maior intensidade ocorre no primeiro terço do tempo de duração total da chuva; intermediário (IN), quando a maior intensidade ocorre no terço médio de duração dos eventos; e atrasado (AT), quando a maior intensidade ocorre após passados mais de 60% do tempo total de duração da chuva.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Análise anual - Precipitação pluviométrica

Para o período investigado (2009-2013) a precipitação pluviométrica ocorrida durante a estação chuvosa expressou incertezas do regime pluviométrico da região (Tabela 11). Verifica-se que no ano de 2011, a altura pluviométrica foi 98 e 100% superior as ocorridas em 2010 e 2013, respectivamente. Fato esse relacionado às características das regiões semiáridas onde se predomina a alta variabilidade temporal dos eventos (GUERREIRO et al., 2013; ANDRADE et al., 2010).

Dos 229 eventos registrados durante o estudo, 26,6 e 27,1% dos eventos foram registrados nos anos de 2009 e 2011 anos mais chuvosos, com chuvas bem distribuídas durante a estação chuvosa; os 46% restante apresentaram a seguinte distribuição: 18,3; 14,4 e 13,5% para os anos de 2010, 2012 e 2013, respectivamente. Como já comentado por distintos autores (LA TORRE TORRES et al., 2011; RAN et al., 2012; RODRIGUES et al., 2015) a distribuição temporal dos eventos pluviométricos é um fator determinante do escoamento superficial em microbacias. Como consequência da distribuição das chuvas registradas em 2013, o respectivo ano não apresentou escoamento superficial para  $P \leq 30$  mm (Tabela 11).

Tabela 11 – Síntese hidrológica das microbacias durante o período estudado (2009-2013) para  $P \leq 30$  mm

Ano	P. Total Anual	Nº eventos chuvosos	P $\leq$ 30 mm		Eventos p/Q > 0	(CReg35)			Eventos p/Q > 0	(CRal)		
			P. Total	Nº eventos		P. Total p/Q > 0	Pe (mm)	C (%)		P. Total p/Q > 0	Pe (mm)	C (%)
2009	1.011,4	61	420,9	25	13	231,94	29,57	12,75	13	233,82	18,85	8,06
2010	717,4	42	208,8	15	1	28,70	0,89	3,09	2	39,37	1,43	3,63
2011	1.416,8	62	487,2	35	10	191,99	23,01	11,98	9	193,34	13,48	6,97
2012	807,5	33	284,3	20	8	134,28	18,65	13,89	5	93,68	5,02	5,36
2013	660,4	31	150,9	16	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4.613,5	229	1552,11	111	32		72,12		29		38,78	
Média								10,43				6,01

Pe=precipitação efetiva (mm); C= coeficiente de escoamento (%).

Do total de 229 eventos chuvosos ocorridos durante o período de estudo, 111 (48,5% do total) foram eventos com  $P \leq 30$  mm (Tabela 11). Destaca-se, ainda, que 54% dos 111 eventos foram registrados em apenas dois anos (2009 e 2011); anos esses em que a altura

pluviométrica foi superior à média anual da região (867 mm). Independente do total precipitado, a maior ocorrência de eventos pluviométricos apresentaram alturas < 30 mm demonstrando a importância destes eventos no regime pluviométrico do semiárido cearense. Resultados semelhantes foram observados por Andrade et al. (2013).

### **Análise Anual - Precipitação efetiva**

Com relação a resposta hidrológica ou precipitação efetiva (Pe), os menores valores foram registrados na microbacia raleada com 38,78 mm, enquanto que na microbacia em regeneração a Pe foi de 72,12 mm (Tabela 11), correspondendo a uma diferença de 86% entre as precipitações efetivas. Essa diferença também foi registrada no coeficiente de escoamento anual médio (C), onde para a CReg35 o C foi de 10,43%, enquanto na CRal o C foi 6,01%. Mediante a similaridade fisiográfica das microbacias (Tabela 10) e o fato de ambas apresentarem o mesmo tipo de solo, a diferença de escoamento nas microbacias é explicado pelo desenvolvimento da vegetação herbácea. Pesquisadores (RAN et al., 2012; XU et al., 2013; RODRIGUES et al., 2013) também verificaram redução no escoamento superficial em relação a alteração da cobertura vegetal.

Na Tabela 12 e 13 encontra-se a síntese hidrológica na escala anual para as microbacias CReg35 e CRal nos diferentes padrões de chuvas, afim de se obter uma melhor resposta quanto a precipitação efetiva decorrente do manejo utilizado.

Tabela 12 – Síntese hidrológica da CReg35 durante o período estudado (2009-2013) para  $P \leq 30$  mm sobre distintos padrões de chuvas

Ano	P Total	Padrão Avançado			Padrão Intermediário			Padrão Atrasado		
		Eventos p/Q > 0	Pe (mm)	C (%)	Eventos p/Q > 0	Pe (mm)	C (%)	Eventos p/Q > 0	Pe (mm)	C (%)
2009	1.011,4	6	8,77	8,5	3	3,77	6,1	4	17,59	18,8
2010	717,4	1	0,89	3,1	0	0	0	0	0	0
2011	1.416,8	1	0,98	3,5	5	21,22	19,7	4	0,81	1,58
2012	807,5	3	4,19	6,2	5	14,46	12,8	0	0	0
2013	660,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4.613,5	11	14,83		13	39,45		8	18,40	
Média				5,33			9,64			5,09

Pe= precipitação efetiva (mm); C= coeficiente de escoamento médio dos eventos que gerou escoamento (%).

A CReg35 apresentou maiores Pe que a CRal (Tabela 13), sendo 14,83; 39,45 e 18,40 mm (Tabela 12) para os padrões de chuvas avançado, intermediário e atrasado, respectivamente. Para os anos hidrológicos estudados, o padrão avançado foi o único que foi observado nos cinco anos, no entanto por ser uma série histórica de apenas cinco anos não podemos afirmar que este seja o padrão predominante da região. Lima et al. (2013), avaliando os padrões de precipitação sob diferentes condições de uso do solo no semiárido cearense, verificou que o padrão avançado foi predominante, o que corrobora os resultados obtidos nesta pesquisa.

Tabela 13 – Síntese hidrológica da CRal durante o período estudado (2009-2013) para  $P \leq 30$  mm sobre diferentes padrões de chuvas

Ano	P Total	Padrão Avançado			Padrão Intermediário			Padrão Atrasado		
		Eventos p/Q > 0	Pe (mm)	C (%)	Eventos p/Q > 0	Pe (mm)	C (%)	Eventos p/Q > 0	Pe (mm)	C (%)
2009	1.011,4	7	5,90	4,9	2	2,09	5,3	4	10,86	12,02
2010	717,4	2	1,43	3,4	0	0	0	0	0	0
2011	1.416,8	2	0,86	2,1	4	12,21	14,7	3	0,41	0,73
2012	807,5	3	2,01	12,8	2	3,01	5,5	0	0	0
2013	660,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4.613,5	14	10,20		8	17,31		7	11,27	
Média				5,79			6,38			3,19

Pe= precipitação efetiva (mm); C= coeficiente de escoamento médio dos eventos que gerou escoamento (%).

As microbacias apresentaram a mesma tendência quanto ao total da Pe produzida nos três padrões de chuvas. Em ambas o padrão de chuva intermediário apresentou as maiores precipitações efetivas (39,45 e 17,31 mm) seguido do padrão atrasado (18,40 e 11,27 mm) e avançado (14,83 e 10,20 mm) para a CReg35 e CRal5, respectivamente, (Tabela 12 e 13). A constatação do efeito do estrato herbáceo ocorreu nos três padrões de chuva, expressando o efeito da vegetação rasteira sobre o escoamento superficial, corroborando com resultados de Rodrigues et al. (2013); Araújo Neto et al. (2013a); Liu et al. (2014) que verificaram a importância da vegetação sobre o deflúvio em bacias hidrográficas.

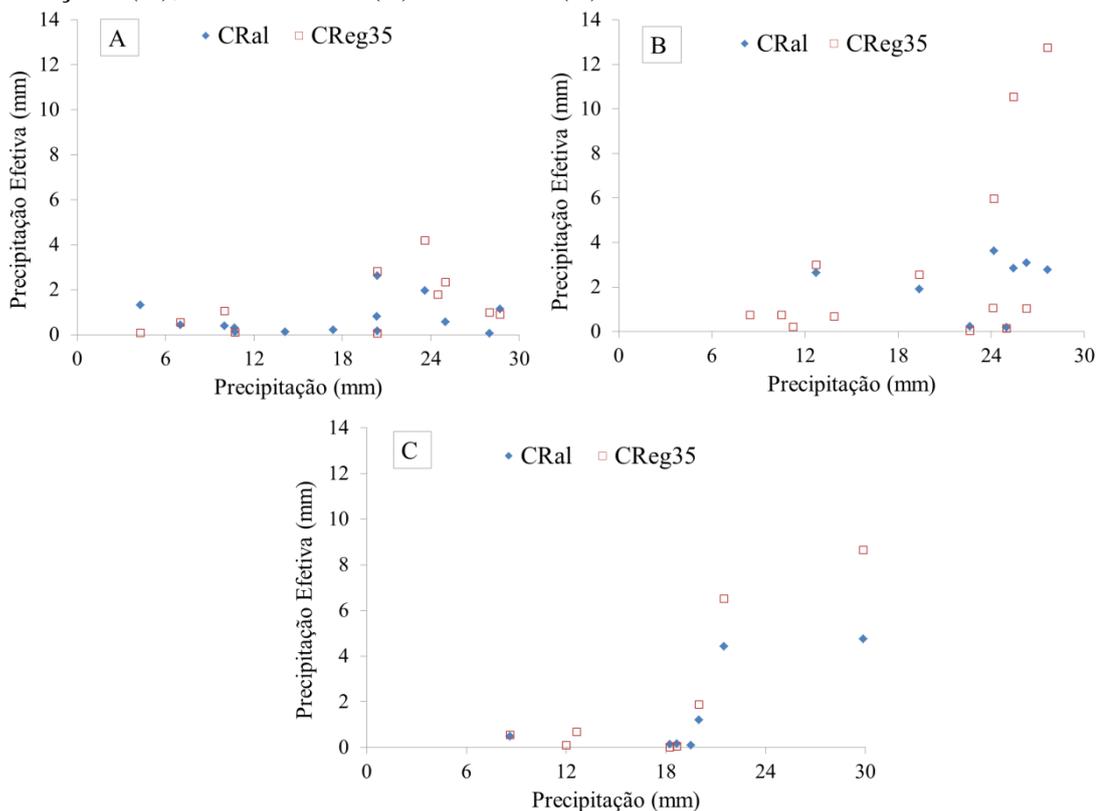
Verificando a Pe total registrada na CReg35 (Tabela 12) e CRal (Tabela 13) encontrou-se uma diferença de 4,63; 22,14 e 7,13 mm para os padrões avançado, intermediário e atrasado, respectivamente mostrando a maior capacidade de abstração em decorrência do estrato herbáceo, reduzindo assim o escoamento. Gomes et al. (2012)

estudando estas duas microbacias e sua relação com a umidade verificaram que o raleamento se mostrou mais eficiente na retenção de umidade comparado ao manejo natural. Na Noruega, Jost et al. (2012) identificaram que diferentes espécies de árvores podem levar a diferentes respostas chuva-vazão no mesmo tipo de solo.

### Análise por evento

Para se ter um melhor entendimento da precipitação efetiva gerada com chuvas de diferentes padrões, as Pe foram relacionadas com suas respectivas precipitações (Figura 16). Em relação ao comportamento dos eventos e a precipitação efetiva por cada evento, percebe-se que as respostas variaram de acordo com cada padrão, seja para a CReg35 e CRal. Em ambas microbacias os maiores escoamentos foram registrados no padrão intermediário seguido do atrasado e avançado (Figura 16). Portanto eventos com  $P \leq 30$  mm e pico de maior intensidade registrado no início da chuva geram menores escoamentos do que chuvas com picos de maior intensidade registrado no meio médio ou final do tempo de duração do evento de chuva. Em virtude da intensidade máxima ser atingida quando a solo está com baixa umidade, gerando portanto menores escoamentos.

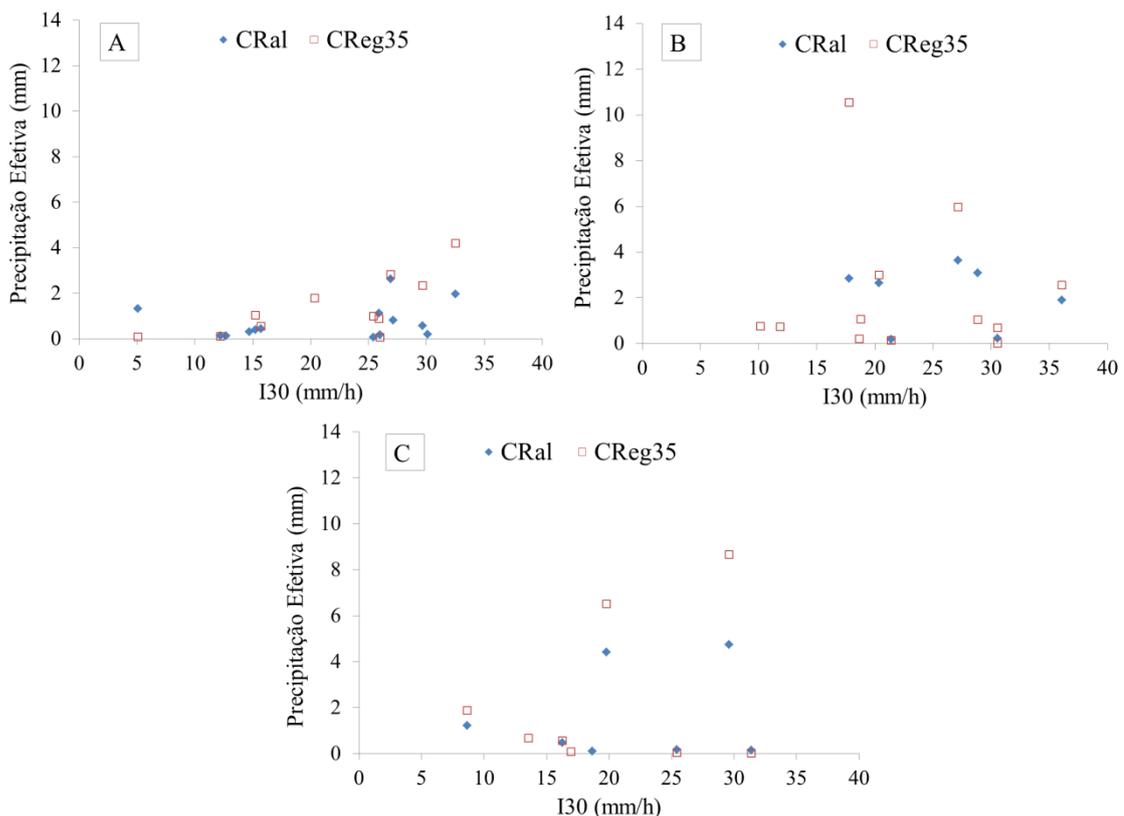
Figura 16 – Relação precipitação efetiva e precipitação para  $P \leq 30$  mm nos padrões avançado (A), intermediário (B) e atrasado (C)



Avaliando as lâminas escoadas por evento, observa-se claramente que as maiores precipitações efetivas foram registradas na CReg35, independente do padrão. Um outro ponto a ser considerado é o fato de que as maiores diferenças foram observadas nos eventos maiores que 20 mm (Figura 16). Como as microbacias possuem mesmas características físicas similares (Tabela 1), mesma granulometria e mineralogia do solo a redução da Pe é atribuída a cobertura vegetal rasteira de maior densidade decorrente do raleamento. Montenegro et al. (2013) observaram também como a cobertura vegetal afetou a infiltração, a umidade do solo e o escoamento superficial.

As precipitações efetivas nas CReg35 e CRal foram relacionadas também com a intensidade em 30 minutos (I30) na escala de evento diante os diferentes padrões de chuvas (Figura 17). Independente do padrão de chuva, as maiores Pe foram registradas na CReg35 com tendência a maiores precipitações efetivas no padrão intermediário e atrasado onde no qual o pico de maior intensidade encontra-se quando o solo já está úmido. Indicando, assim, que a vegetação da CReg35 tem um maior potencial de gerar escoamento para  $P \leq 30$  mm, nos diferentes padrões de chuvas. Enquanto a CRal, em virtude do estrato herbáceo, obteve-se menores escoamentos devido a maior capacidade de retenção de água.

Figura 17 – Relação precipitação efetiva e intensidade em 30 minutos (I30) para  $P \leq 30$  mm nos padrões avançado (A), intermediário (B) e atrasado (C)



## 4 CONCLUSÃO

Independente do padrão de chuva, as menores precipitações efetivas para  $P \leq 30$  mm, tanto na escala anual como por evento foi registrada na CRal.

A resposta hidrológica perante aos padrões de chuvas mostrou uma mesma tendência em ambas as microbacias, com maiores precipitações efetivas registradas para padrões intermediário seguido do atrasado e avançado, mas sempre a raleada com menores  $P_e$  geradas.

A vegetação herbácea influenciou na redução do escoamento nos três padrões de chuvas avaliados.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, N. N. L. **Caracterização de microbacia hidrográfica experimental no semiárido brasileiro como suporte a estudos da degradação**. 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- ANDRADE, D. E.; ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO H. A. Q.; RODRIGUES J. O.; SANTOS, J. C. N. Escoamento superficial versus manejo da vegetação em microbacias do semiárido. *In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO*, 2013, Iguatu. **Anais...** Fortaleza: MASSA, 2013. p. 1-7.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q., 2010. **O semiárido cearense e suas águas**. In: Andrade, E. M., Pereira, O. J., Dantas, F. E. R. (Eds.) *O Semiárido e o manejo dos recursos naturais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, pp 71-94.
- ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; SANTOS, J. C. N.; LOBATO, F. A. O. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, p. 111-120, 2013a.
- ARAÚJO NETO, J. R. **Efeito de diferentes manejos sobre o escoamento superficial em microbacias experimentais no semiárido tropical**. 2012. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ARAÚJO NETO, J. R.; SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; BRASIL, J. B.; RIBEIRO FILHO, J. C. Geração de escoamento superficial em diferentes escalas espaciais com cobertura vegetal modificada no semiárido, 2013, Campina Grande. *In: I WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO*. **Anais...**, Campina Grande, p. 1-5, 2013b.
- CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; VENDE, J.; BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; ASENSIO, C.; PUIGDEFÁBREGAS, J. A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 1254-1261, 2011.
- CHAMIZO, S.; CANTÓN, Y.; RODRÍGUEZ-CABALLERO, E.; DOMINGO, F.; ESCUDERO, A. Runoff at contrasting scales in a semiarid ecosystem: A complex balance between biological soil crust features and rainfall characteristics. **Journal of Hydrology**, v.452–453, p.130–138, 2012.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013, 353 p.
- FANG, N.; SHI, Z.; LI, L.; GUO, Z.; LIU, Q.; AI, L. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed. **Catena**, v.99, p.1–8, 2012.

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

GOMES, F. E. F.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; BRASIL, P. P. Comparativo da umidade do solo de duas microbacias na caatinga, em relação ao manejo. *In*: CONGRESSO NORTE E NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 2012, Palmas. **Anais...** Palmas: CONNEPI, 2012. p. 1-5.

GUERREIRO M. J. S.; ANDRADE, E. M.; ABREU, I; LAJINHA, T. Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 2929–2939, 2013.

JAMES, A. L.; ROULET, N. T. Antecedent moisture conditions and catchment morphology as controls on spatial patterns of runoff generation in small forest catchments. **Journal of Hydrology**, v. 377, p. 351-366, 2009.

JOST, G.; SCHUME, H.; HAGER, H.; MARKART, G.; KOHL, B. A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 420-421, p. 112-124, 2012.

LIMA, C. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; BRASIL, P. P. Characteristics of rainfall and erosion under natural conditions of land use in semiarid regions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p.1222-1229. 2013.

LIMA, Y. C. P.; LIMA NETO, I. E.; ARAUJO, J. C. Análise Ex-Post do assoreamento de um pequeno reservatório: estudo de caso Açude Boqueirão, Aiuaba, Ceará. *In*: IX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. **Anais...** Brasília, 2010. p.

LIU, R.; WANG, J.; SHI, J.; CHEN, Y.; SUN, C.; ZHANG, P.; SHEN, Z. Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions. **Science of the Total Environment**, v. 468–469, p. 1069–1077, 2014.

MAYOR, A. G.; BAUTISTA, S.; BELLOT, J. Scale-dependent variation in runoff and sediment yield in a semiarid Mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, v. 397, p. 128–135, 2011.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109, p.139-149, 2013.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÈ, I. A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 475-483, 2001.

OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C. Barragem subterrânea - Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido. **Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos**, v. 3, p. 31, 2010.

PALÁCIO, H. A. Q. **Avaliação emergética de microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a diferentes manejos**. 2011. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza , 2011.

PENG, T.; WANG, S. Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in southwest China. **Catena**, v.90, p.53–62, 2012.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RAYMER, P. C. L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PEREIRA, F. J. S. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 32-40, 2016.

RAN, Q.; SU, D.; LI, P.; HE, Z. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. **Journal of Hydrology**, v. 424–425, p. 99–111, 2012.

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

RODRIGUES, R. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; SOUSA, M. M. M. Relação da chuva com o escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica no semiárido cearense. *In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO*, 2015, Quixáda. **Anais...** Fortaleza: MASSA, 2015. p. 1-6.

SANTOS, J. C. N.; ALCÂNTARA, H. M.; SANTOS, A. F.; LIMA, C. A. Geração de escoamento em microbacia no semiárido paraibano – brasil. *In: XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 2014, Natal. **Anais...** Natal, 2014. p. 1-10.

LA TORRE TORRES, I. B.; AMATYA, D. M.; SUN, G.; CALLAHAN, T. J. Seasonal rainfall–runoff relationships in a lowland forested watershed in the southeastern USA. **Hydrological Processes**, v. 25, p. 2032–2045, 2011.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review.**, v. 38, p. 55-94, 1948.

XU, Q. X.; WANG, T. W.; CAI, C. F.; LI, Z. X.; SHI, Z. H.; FANG, R. J. Responses of runoff and soil erosion to vegetation removal and tillage on steep lands. **Pedosphere**, v. 23, p. 532–541, 2013.