



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

JACQUES CARVALHO RIBEIRO FILHO

**MENSURAÇÃO E MODELAGEM DA INTERCEPTAÇÃO VEGETAL EM UMA
MICROBACIA PERENE DE VERTENTE**

MOSSORÓ

2018

JACQUES CARVALHO RIBEIRO FILHO

**MENSURAÇÃO E MODELAGEM DA INTERCEPTAÇÃO VEGETAL EM UMA
MICROBACIA PERENE DE VERTENTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos ambientais pelo uso do solo e da água

Orientador: Prof. Dr. Luís César de Aquino Lemos Filho

MOSSORÓ

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu respectivo autor seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)

FF478 m	Filho, Jacques Carvalho Ribeiro. Mensuração e modelagem da interceptação vegetal em uma microbacia perene de vertente / Jacques Carvalho Ribeiro Filho. - 2018. 62 f. : il. Orientador: Luís César de Aquino Lemos Filho. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2018. 1. Particionamento da precipitação. 2. Características da precipitação. 3. Modelo de Rutter. 4. Modelo de Gash. I. Filho, Luís César de Aquino Lemos, orient. II. Título.
------------	---

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JACQUES CARVALHO RIBEIRO FILHO

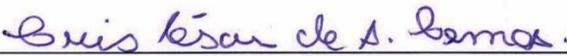
**MENSURAÇÃO E MODELAGEM DA INTERCEPTAÇÃO VEGETAL EM UMA
MICROBACIA PERENE DE VERTENTE**

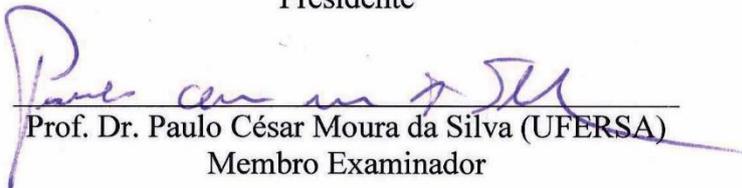
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

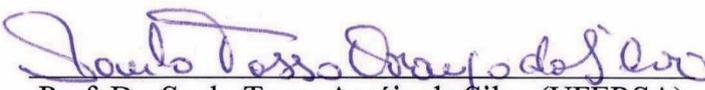
Linha de Pesquisa: Impactos ambientais pelo uso do solo e da água

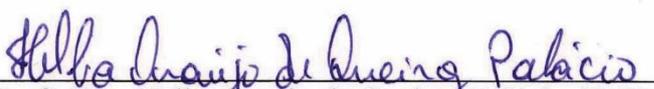
Defendida em: 17 / 01 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Luís César de Aquino Lemos Filho (UFERSA)
Presidente


Prof. Dr. Paulo César Moura da Silva (UFERSA)
Membro Examinador


Prof. Dr. Saulo Tasso Araújo da Silva (UFERSA)
Membro Examinador


Prof.ª Dra. Helba Araújo de Queiroz Palácio (IFCE)
Membro Examinadora


Prof. Dr. Júlio César Neves dos Santos (IFTM)
Membro Examinador

Este trabalho é dedicado às pessoas que sempre estiveram ao meu lado pelos caminhos da vida, me acompanhando, apoiando e principalmente acreditando em mim: Meus pais Jacques Carvalho Ribeiro e Luduvina de Almeida Ribeiro e minha irmã Antônia Camilla de Almeida Ribeiro. A vocês, que sempre me ajudaram e me compreenderam em todos os momentos da minha vida, devo principalmente esta vitória alcançada a vocês, amores da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus ao qual me concedeu a saúde física e mental para desenvolver este trabalho, pelas conquistas que tem me proporcionado em toda a caminhada da minha vida. A toda minha família pelo apoio emocional e estrutural para conseguir esta conquista, em especial meus pais e minha irmã.

Ao professor Luís César de Aquino Lemos Filho, pelo incentivo, amizade e paciência nesta jornada, da qual demonstrou total confiança em todo o período em que convivemos nesse trabalho de pesquisa.

Aos professores Carolina Malala Martins, Fábio Henrique Tavares de Oliveira, Glauber Henrique Nunes, Jeane Cruz Portela, José Espínola Sobrinho, José Francismar de Medeiros, Paulo Cesar Moura da Silva e Rafael Oliveira Batista, que contribuíram direta e indiretamente para conclusão desta pesquisa.

A Mileno Alexandre pela amizade, apoio de campo e manutenção da estação meteorológica, essenciais ao desenvolvimento da pesquisa e todo seu apoio técnico, companheirismo e paciência.

A senhora Elizabete Barbosa, e ao casal Branca e Eider por ceder espaço físico e nos ofertar apoio técnico para a realização desse trabalho.

Aos amigos de residência Alisson Gomes e Nilson Oliveira

Aos meus amigos e contemporâneos de pós graduação: Aline Alves, Alisson Gomes, Antônio Carlos, Aparecido Miranda, Artemizia Gomes, Camilo Vinicius, Elidayane Cunha, Everaldo Guimarães, Flávio Basílio, Higor Talisson, John Fontele, Lizandra Evelyn, Luiz Eduardo, Lunara Gleika, Mikhael Rangel, Ricardo Rebouças, Rutilene Rodrigues, Valdivia Bezerra, que sempre acreditaram e apoiaram nas dificuldades, fazendo com que conseguisse vencer as dificuldades e ultrapassar as barreiras.

A todos que fazem o grupo de pesquisa RENAS, em especial Ayslann Todayoshi, Fiana Tavares, Junior Fernandes, Larissa Luana e Matheus Caminha.

Aos amigos de Iguatu pelo apoio de sempre, em especial a Helba Palácio, José Brasil e Júlio César.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela formação acadêmica e oportunidade de concluir o Curso de Mestrado em Manejo de Solo e Água.

A CAPES pelo apoio financeiro da bolsa durante todo o programa.

A todos os docentes do programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água por contribuírem na minha formação profissional.

Sonhos determinam o que você quer. Ação
determina o que você conquista.

Aldo Novak

RESUMO

O conhecimento do comportamento hidrológico de uma dada região é de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos. Contudo, no Brasil e em várias outras regiões do mundo, ainda não é compreendida a real influência da vegetação na interceptação da água da chuva. Neste contexto o presente trabalho objetivou avaliar, em escala de eventos individuais, a interceptação vegetal e os demais particionamento da água da chuva, além de testar os principais modelos matemáticos para suas estimativas. A área de estudo é uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) situada dentro da Microbacia da Bica no município de Portalegre, situado na região serrana do oeste do estado do Rio Grande do Norte. As perdas por interceptação da vegetação na ARIE foram medidas no período de janeiro a dezembro de 2017 em um sítio experimental com área de 10 x 20 m, onde a composição florística apresenta predomínio de Caatinga e ocorrência de vegetação da Mata Atlântica. As perdas por interceptação foram quantificadas pela diferença entre a precipitação total e a soma das parcelas de precipitação interna (sob a vegetação) e escoamento pelos troncos. Para a medição da precipitação total, utilizou-se um pluviômetro instalado em uma área descampada, sendo a precipitação interna estimada pela média aritmética dos registros diários de dez pluviômetros distribuídos aleatoriamente sob a vegetação e reposicionados a cada duas semanas. A medição do escoamento pelos troncos se deu em seis árvores de diâmetros variados nas quais foram construídas calhas de massa plástica, que direcionaram o escoamento de água dos troncos para os coletores. No período monitorado a análise de 20 eventos chuvosos na ARIE indica que a interceptação, precipitação interna e escoamento pelos troncos correspondem a 44,9%, 52,8% e 2,2% da precipitação total, respectivamente. Estudando a características das chuvas, as intensidades máximas em 15, 20, 30 e 45 minutos (I15, I20, I30 e I45) apresentaram os maiores pesos fatoriais indicando que é necessária maior atenção em estudos hidrológicos para esta variável na região semiárida brasileira. Os modelos de perda por interceptação utilizados nesse trabalho predisseram a interceptação florestal de maneira satisfatória. O modelo de Rutter obtido o menor valor de erro relativo para a I acumulada ao final do período monitorado, com valor de 10% seguido do modelo de Gash que apresentou um erro relativo de 12%.

Palavras-chave: Particionamento da precipitação. Características da precipitação. Modelo de Rutter. Modelo de Gash.

ABSTRACT

Knowledge of the hydrological behaviour of a given region is of fundamental importance for the management of water resources. However, in Brazil and in several other regions of the world, the real influence of vegetation on the interception of rainwater is still not understood. In this context, the present work aimed at evaluating, on a scale of individual events, the plant interception and the other partitioning of rainwater, in addition to testing the main mathematical models for their estimates. The area of study is an area of relevant ecological interest (ARIE) located within the microbasin of the spout in the municipality of Portalegre, situated in the Highland region of the west of the state of Rio Grande do Norte. The losses by interception of the vegetation in ARIE were measured in the period from January to December 2017 in an experimental site with area of 10 x 20 m, where the composition floristic presents predominance of Caatinga and occurrence of vegetation of the Atlantic forest. The losses by interception were quantified by the difference between the total precipitation and the sum of the portions of internal precipitation (under the vegetation) and runoff by the trunks. For the measurement of the total precipitation, a gauge installed in an unfielded area was used, the internal precipitation estimated by the arithmetic mean of the daily records of ten gauges randomly distributed under the vegetation and repositioned every two Weeks. The measurement of the flow through the trunks was in six trees of varying diameters in which the plastic mass gutters were constructed, which directed the flow of water from the trunks to the collectors. In the monitored period the analysis of 20 rainy events in ARIE indicates that the interception, internal precipitation and flow by the trunks correspond to 44.9%, 52.8% and 2.2% of the total precipitation, respectively. Studying the characteristics of rainfall, the maximum intensities in 15, 20, 30 and 45 minutes (I15, I20, I30 and I45) presented the largest factorials weights indicating that more attention is needed in hydrological studies for this variable in the Brazilian semi-arid region. The interception loss models used in this work have pretold the forest intercept in a satisfactory manner. The Rutter model obtained the smallest error value relative to the accumulated I at the end of the monitored period, with a value of 10% followed by the Gash model that presented a relative error of 12%.

Keywords: Precipitation partitioning. Characteristics of precipitation. Rutter model. Gash model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das regiões áridas, sem-áridas e hiper-áridas pelo mundo (Adaptado de UNEP-WCMC, 2007)	9
Figura 2 – Distribuição dos estudos de interceptação, modelagem e outros trabalhos que citam a interceptação nas regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas no mundo (Adaptado de UNEP-WCMC, 2007)	16
Figura 3 – Porcentagem dos trabalhos de Interceptação, modelagem e outros trabalhos que citam a interceptação nas regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas no mundo.....	17
Figura 4 – Localização da área de estudo.....	31
Figura 5 – Pluviômetro Valle de Pari (a) e Pluviômetro artesanal (b)	32
Figura 6 – Coletor para o escoamento pelo tronco.....	33
Figura 7 - Agrupamento hierárquico pelo método de Ward para eventos pluviométricos do ano de 2017, para a área de estudo.....	37
Figura 8 - Comportamento da precipitação (a), Interceptação (b), Precipitação interna (c) e escoamento pelo tronco (d) para cada grupo hierárquico para à área em estudo.	40
Figura 9 – Localização da área de estudo.....	51
Figura 10 – Correlação entre valores acumulados de interceptação medido e estimados pelos modelos de Rutter e Gash.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores que influenciam o processo de escoamento pelo tronco.	6
Tabela 2 - Estudos de Interceptação vegetal na região do Marrocos, Argélia e Líbia	9
Tabela 3 - Estudos de Interceptação vegetal nos países do mediterrâneo da Europa.....	10
Tabela 4 – Estudos de Interceptação vegetal nos países próximo ao Oriente médio	11
Tabela 5 – Estudos de Interceptação vegetal nos países da Ásia Central.....	12
Tabela 6 – Estudos de Interceptação vegetal na Austrália	13
Tabela 7 – Estudos de Interceptação vegetal nas zonas do Saara, Sudão, África e Madagascar	13
Tabela 8 – Estudos de Interceptação vegetal nos países da América do Norte.....	14
Tabela 9 – Estudos de Interceptação vegetal nos países da América do Sul.....	15
Tabela 10 – Eventos pluviométricos (P total), Precipitação interna (Pi), Escoamento pelo tronco (Esc) e perdas por interceptação (I) para a área de estudo	36
Tabela 11 - Número de eventos, média, máximo e mínimo, mediana e desvio padrão das variáveis em cada grupo dos eventos em estudo.	38
Tabela 12 - Matriz de correlação das variáveis relacionadas ao processo de particionamento da chuva pela interceptação para à área em estudo.	41
Tabela 13 - Matriz do peso fatorial das variáveis nas componentes principais, após a rotação pelo algoritmo Varimax.....	42
Tabela 14 – Eventos de chuva, total precipitado e total interceptado	56
Tabela 15 - Valores de NSE e Pbias para os modelos de Rutter e Gash	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de componente principal
AF	Análise fatorial
C	Armazenamento na copa
CP	Componente principal
Ct	Variação de quantidade de água armazenada nos troncos
D	taxa de drenagem da copa
E	Taxa de evaporação
EC	Energia Cinética
Ei	Escoamento pelo caule da árvore representativa da classe
Et	Taxa de evaporação da água armazenada nos troncos
Eto	Evapotranspiração
Esc	Escoamento pelo tronco
I	Interceptação
I5	Intensidade no intervalo de 5 minutos
I10	Intensidade no intervalo de 10 minutos
I20	Intensidade no intervalo de 20 minutos
I30	Intensidade no intervalo de 30 minutos
I45	Intensidade no intervalo de 45 minutos
I60	Intensidade no intervalo de 60 minutos
Int	Intensidade da chuva
I^{obs}	Perda por interceptação medida
I^{mod}	Perda por interceptação modelada
$I^{méd}$	Perda média dos eventos observados
p	Coefficiente de chuva interna livre
P	Precipitação total incidente acima do dossel
PBIAS	Percentagem da diagonal
P'G	Quantidade de precipitação necessária para encher o dossel
pt	Coefficiente de água desviada para os troncos
P't	Quantidade de precipitação necessária para encher o tronco
NSE	coeficiente de Nash & Sutcliffe
S	capacidade de armazenamento da vegetação
Sf	Escoamento pelo tronco
St	capacidade de armazenamento dos troncos

SUMÁRIO

CAPITULO 1	1
Particionamento da precipitação pela interceptação vegetação em condições áridas, semiáridas e hiper-áridas: uma revisão de estudos no mundo	1
Resumo.....	1
Palavras-chave.....	1
Introdução	3
Particionamento da precipitação pluvial via interceptação vegetal.....	4
Precipitação Interna (Pi).....	5
Escoamento pelo tronco (Esc).....	6
Artigos de revisão publicados sobre o assunto.....	6
Artigos publicados em diferentes regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas no mundo	8
Marrocos, Argélia e Líbia	9
Países do mediterrâneo da Europa	10
Países próximos ao Oriente Médio.....	10
Ásia Central.....	12
Austrália	13
Zonas do Saara, Sudão, África e Madagascar	13
América do Norte	14
América do Sul.....	15
Distribuição pelo mundo	15
Especificidade dos trabalhos	16
Considerações finais.....	17
Agradecimentos.....	18
Referências	18
CAPITULO 2	28
Particionamento da chuva pelo processo de interceptação vegetal em uma bacia hidrográfica na região semiárida	28
Resumo.....	28
Palavras-chave.....	28
Introdução	30
Material e Métodos.....	30
Resultados e Discussão	36
Conclusões	43
Agradecimentos.....	44
Literatura Citada.....	44

CAPITULO 3	48
Medições e avaliação de diferentes modelos de interceptação vegetal para uma região semiárida tropical.....	48
Resumo.....	48
Palavras-chave.....	48
Introdução	50
Material e métodos	51
Área experimental	51
Modelo de Rutter.....	53
Modelo de Gash	54
Erro dos modelos.....	54
Resultados e discussão	55
Interceptação observada	55
Modelagem da Interceptação	57
Erros dos Modelos.....	58
Conclusões	59
Agradecimentos.....	59
Referências	59

CAPITULO 1

Particionamento da precipitação pela interceptação vegetação em condições áridas, semiáridas e hiper-áridas: uma revisão de estudos no mundo

Resumo: A dinâmica da interceptação vegetal depende principalmente das características do clima e da estrutura das espécies florestais. Nesse contexto objetivou-se no presente trabalho fornecer uma revisão de literatura sobre estudos do particionamento da precipitação pelo processo de interceptação em ambientes semiáridos, áridos e hiper-áridos no mundo. A partir dessa revisão bibliográfica, constatou-se que os estudos de interceptação no Mundo, têm uma distribuição desuniforme das pesquisas de interceptação da água da chuva pela vegetação ao longo das regiões. Nas regiões do Oriente médio, América do Norte e Ásia Central, concentram 58% dos estudos sobre o assunto. Por outro lado, nas regiões secas da Líbia, Marrocos e Argélia há uma grande escassez de dados nessa linha hidrológica. Esse fato deve servir de alerta para a necessidade de se voltar a atenção para esse processo hidrológico nesses ambientes. Para o continente sul-americano, atualmente existem apenas 4 trabalhos publicados na área, todos localizados no Brasil, sendo desses, apenas 1 trabalho com modelagem, evidenciando a deficiência de trabalhos com modelos para estimativa da interceptação vegetal para essas regiões, embora encontre-se na literatura mais de 15 modelos para a interceptação vegetal, com a exceção de Gash e Rutter, os demais são pouco testados para essas condições. Com base na revisão bibliográfica, o presente artigo sugere: (i) realização de estudos de quantificação da interceptação onde estes inexistem ou são insuficientes; (ii) estudos de espécies predominantes nas regiões; (iii) realização de trabalhos de modelagem; (iv) realização de estudos de interceptação em bacia experimentais integrados aos estudos de outros processos hidrológicos.

Palavras-chave: Regiões secas. Escoamento pelo tronco. Modelagem hidrológica.

CHAPTER 1

Partitioning of precipitation by trapping vegetation in arid, semi-arid and Hiper-áridas conditions: a review of studies in the world

Abstract: The dynamics of the plant interception depends mainly on the characteristics of the climate and the structure of the forest species. In this context it was aimed at the present work to provide a revision of literature on studies of the partitioning of precipitation by the process of interception in semi-arid, arid and hiper-áridos environments in the world from this bibliographical revision, it was found that. The world's interception studies have an uneven distribution of the researches of the rain water interception through the vegetation throughout the regions. In the Middle East regions, North America and Central Asia, they concentrate 58% of the studies on the subject. On the other hand, in the dry regions of Libya, Morocco and Algeria there is a great shortage of data in this hydrological line. This should serve as an alert for the need to turn attention to this hydrological process in these environments. For the South American continent, currently there are only 4 works published in the area, all located in Brazil, being of these, only 1 work with modeling, showing the deficiency of works with models for estimation of the plant interception for these Regions, although it is found in the literature more than 15 models for the plant interception, with the exception of Gash and Rutter, the others are little tested for these conditions. On the basis of the bibliographical revision, this article suggests: (i) conducting studies of quantification of the interception where they do not exist or are insufficient; (ii) Studies of predominant species in the regions; (iii) conducting modeling work; (iv) conducting experimental basin interception studies integrated into the studies of other hydrological processes.

Keywords: Dry regions. Stemflow. Hydrological modeling.

Introdução

A chuva que cai sobre uma bacia hidrográfica com vegetação é naturalmente fracionada em três parcelas: na primeira, uma parte é interceptada e armazenada pela vegetação, e evapora durante ou após o evento; outra parte cai livremente sobre o solo, sem interferência da vegetação, ou depois de ser interceptada é novamente gotejada ao solo; já a última parte alcança o solo via escoamento pelos troncos, após ser interceptada (GIGLIO; KOBAYAMA, 2013; ZANG et al., 2015; CHEN; LI, 2016). Assim, o processo de interceptação vegetal age fracionando a água da chuva, sendo que uma parte volume total precipitado incidente não chega ao solo.

A divisão que ocorre após o processo de interceptação, pode provocar modificações no balanço hídrico, tornando-se ainda mais relevante em áreas áridas, semiáridas e hiper-áridas, que abrangem um terço de área total na Terra (REYNOLDS, 2001). Nessas áreas a água é um fator limitante para o desenvolvimento econômico, ambiental e social (ATTAROD et al., 2015; SADEGHI et al., 2016). Contudo, a interceptação vegetal vem sendo um dos processos mais subestimados em análise da precipitação-escoamento residual, especialmente em modelagem do balanço hídrico (MUZYLO et al., 2009), gerando erros no escoamento superficial modelado.

A interceptação vegetal depende fortemente do tempo e da intensidade das chuvas, da estrutura de vegetação e das condições meteorológicas que controlam a evaporação durante e após a precipitação (RUTTER et al., 1975; GASH, 1979). A dependência desses fatores, modifica a redistribuição das chuvas à medida que a água passa através do dossel, modificando o total evaporado e o resto chega ao solo através do escoamento pelo tronco ou passa direto pela vegetação (LLORENS; DOMINGO, 2007; CARLYLE-MOSES, 2014).

A interceptação, a chuva interna e o escoamento de tronco são influenciados, entre outros fatores, pelo clima e cobertura vegetal da região. As mudanças climáticas crescentes no século XXI e o aumento de regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas (RAGAB; PRUDHOMME 2002), faz com que estudos seja necessário cada vez mais estudos sobre os processos hidrológicos nessas regiões

A interceptação de precipitação é reconhecida como um processo hidrológico de importante na gestão de recursos hídricos, mas também no contexto das mudanças climáticas (ARNELL, 2002). Isto é especialmente verdadeiro para a chuva que cai sobre uma bacia florestal, onde a perda anual de interceptação geralmente representa para um quarto ou mais da precipitação total (LIU et al., 2016).

Devido às dificuldades de medição, a maneira mais comum de se determinar as perdas por interceptação é através de investigações empíricas, de forma indireta, onde são medidos os

processos de entrada (precipitação total) e saída (precipitação interna e escoamento pelo tronco). A diferença entre esses processos é o que fica temporariamente retida na vegetação e retorna à atmosfera (CHAFFE et al., 2010).

O processo de medição de interceptação nem sempre é fácil. Diante das dificuldades para a mensuração em campo, surgiram diversos modelos para a estimativa do processo de interceptação. Estudos realizados por Muzylo et al., (2009) apontaram a existência de 11 modelos utilizados em todo o mundo. No mesmo estudo os autores levantaram a complexidade dos modelos e suas aplicações pelo mundo. Destacando o modelo de Rutter e Gash como os mais utilizados no mundo e os únicos aplicados para regiões secas.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é fornecer uma revisão de literatura sobre estudos do particionamento da precipitação pelo processo de interceptação vegetal em ambientes semiáridos, áridos e hiper-áridos no mundo. Foram incluídos os principais artigos já publicados até 2017, nos principais periódicos indexados e anais, com ênfase no monitoramento da interceptação, chuva interna ou escoamento de tronco, ou que minimamente apresentassem resultados de medição em campo ou modelados desses processos. Por questões de acesso à informação, esta revisão está restrita às publicações que satisfazem um dos seguintes critérios:

1) publicações - em língua inglesa ou portuguesa em periódicos com acesso livre na internet ou disponíveis nos portais Scielo, Scopus, Researchgate e Web of science;

2) publicações em anais de eventos ou boletins institucionais, disponíveis em meio digital ou impresso, caso citados pelas publicações do item 1.

Particionamento da precipitação pluvial via interceptação vegetal

A retenção da precipitação acima da superfície do solo é chamada de interceptação, podendo ocorrer pela presença de vegetação ou outras formas de obstrução (TUCCI, 2004). Penman (1963) enfatiza que, em termos quantitativos hidrológicos, a vegetação é o agente interceptor mais importante. A interceptação das florestas, desempenha um papel importante no balanço hídrico dos ecossistemas florestais, retendo uma porção significativa de precipitação recebida (HORTON, 1919). A interceptação das chuvas é reconhecida como um processo hidrológico de considerável importância na gestão dos recursos hídricos, mas também no contexto da mudança climática (ARNELL, 2002). Tal fenômeno é entendido como o processo pelo qual a precipitação é retida na vegetação, ficando sujeita à evaporação (MEDEIROS et al., 2009).

Pioneiro nos estudos sobre a interceptação de água pela vegetação, Horton em 1919, lançou as bases técnicas de medidas experimentais para quantificação da interceptação vegetal

através da precipitação, com a distribuição de diversos pluviômetros em diferentes situações e posições e interceptômetros artesanais para determinar o escoamento pelos troncos. As técnicas utilizadas por Horton, são aplicadas ainda nos dias atuais por outros autores (IZIDIO et al., 2013; LORENZON et al., 2015; SADEGHI et al., 2015; BRASIL et al., 2017), que aplicaram modificações advindo das novas tecnologias. A quantidade de água interceptada, é geralmente quantificada pela diferença entre a precipitação total (P) e a precipitação efetiva, definida como o somatório da precipitação interna (P_i) mais o que escoou pelos troncos (E_{sc}) (FAN et al., 2014).

A fração da água da chuva que chega ao solo é influenciada por diversos fatores, tais como: (I) Climáticos: intensidade e altura precipitada, chuvas antecedentes, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar e radiação solar (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; GIGLIO; KOBAYAMA, 2013; LIVESLEY; BAUDINETTE; GLOVER, 2014); (II) Fisiologia vegetal: tipo, orientação, altura e densidade da vegetação, capacidade de armazenamento, grau de desenvolvimento vegetal (SHINZATO et al. 2011; GIGLIO; KOBAYAMA 2013; SARI et al., 2016); e (III) Período/estação do ano, em especial para aquelas regiões com ocorrência de períodos chuvosos e pouco chuvosos bem definidos (ARCOVA, 2003; MOURA et al., 2012; BRASIL et al., 2017).

Precipitação Interna (P_i)

A precipitação interna ou transprecipitação dá-se pelas gotas que atravessam diretamente o dossel e pelo gotejamento proveniente da saturação das folhas, ramos e epífitas. (SOUSA et al., 2016). Na tentativa de se medir a capacidade de água que chega ao piso florestal, já foram testados uma variedade de dispositivos de diversos tamanhos, coletor plástico e padrão de mensuração da chuva. Para a região semiárida do Brasil o valor médio de precipitação interna é 80% do total precipitado (MEDEIROS et al., 2009; IZIDIO et al., 2013; BRASIL et al., 2017).

A interceptação da chuva por um dossel da floresta é um fenômeno temporalmente variável e, portanto, um processo dinâmico, representando um equilíbrio em constante mudança entre uma multiplicidade de fatores mutuamente interativos (IIDA et al., 2017). As interações entre o clima e a estrutura vegetal podem ocasionar diferenças significativas entre os percentuais de precipitação interna para espécies com características semelhantes (BRAUMAN; FREYBERG; DAILY, 2010). Além disso, a ocorrência de pontos de gotejamento (drippoints) e de caminhos preferenciais contribui para a variabilidade espacial e temporal desse particionamento.

Escoamento pelo tronco (Esc)

O escoamento pelo tronco equivale a porção da água da chuva que, após ser retida pela copa, escoam pelos galhos e troncos em direção ao solo. Para que o escoamento pelo tronco ocorra, é preciso primeiro uma saturação da copa, isto é, seja atingida a capacidade máxima de retenção de água (SHINZATO et al. 2011).

Algumas pesquisas relatam que o escoamento pelo tronco é relativamente baixo em florestas naturais e plantadas (< 3%) (ARCOVA et al., 2003; OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005), contudo, em termos percentuais, constitui uma parcela do total precipitado, variando de 1 a 15% (SARI et al., 2016), estando dentro da faixa de erros da amostragem (TUCCI, 2004). Aliado aos baixos percentuais de precipitação total, o alto custo para instalação e manutenção do monitoramento do escoamento pelo tronco é desconsiderado em alguns trabalhos (NÁVAR et al., 1999; FERREIRA et al., 2005; THOMAZ, 2005; MURAKAMI, 2007).

Na Tabela 1 observa-se de forma reduzida, os principais fatores que influenciam o processo de escoamento pelo tronco bem como os fatores indutivos que aumentam o escoamento.

Tabela 1– Fatores que influenciam o processo de escoamento pelo tronco.

Escoamento pelo tronco	
Características da casca	<ul style="list-style-type: none">• Lisa• Áspera• Presença/ausência de líquens e fungos• Grau de umidade do caule
Padrões de ramificação	<ul style="list-style-type: none">• Posição do ramo: horizontal, ereto, etc• Ângulo de inclinação do ramo: apontados para cima ou para baixo etc
Maior escoamento	<ul style="list-style-type: none">• Casca lisa• Ramos eretos• Ramos apontados para cima

Adaptado de Sari (2011)

Artigos de revisão publicados sobre o assunto

Dentre os trabalhos já publicados que revisaram o assunto, destacam-se cinco artigos:

Crockford & Richardson (2000) – Em seu artigo de revisão, constatam que é difícil sugerir conclusões gerais sobre perdas por interceptação vegetal. Os autores afirmam ainda que as principais dificuldades para se ter resultados conclusivos incluem as características da vegetação como uniformidade da vegetação, ângulo da ramificação, densidade etc. Além da vegetação, fatores climáticos como medidas de ETo, velocidade do vento, intensidade da chuva etc, dificultam uma generalização dos dados, sendo necessário medidas pontuais para cada local. Na revisão, os autores citam 3 trabalhos em áreas semi-áridas e áridas: Pressland (1973) registrou uma interceptação de 13% com a espécie *Acacia anuera* F. Muell. em Queensland, Austrália. Já em região árida no Canadá, os autores ditam o trabalho de Couturier & Ripley (1973) que avaliando gramíneas observaram a variação entre 21 a 32% de interceptação, dependendo da altura em que a gramínea se encontra. Já o terceiro trabalho que os autores citam é o de Navar e Bryan (1994) no qual apresentam um estudo em vegetação arbórea que obtiveram uma interceptação vegetal de 27%, em região semiárida do México.

Levia Jr & Frost (2003) apresentam uma revisão voltada para o escoamento pelo tronco, e o transporte de nutrientes por esse fluxo. Entre suas principais considerações está a escassez de estudos em espécies presentes em climas semiáridos, áridos e hiper-áridos. Dentre os trabalhos citados pelos autores, a média de interceptação para a região é de 19%. Já o escoamento pelo tronco variou de 0,76% da precipitação (NAVAR et al., 1999b) a 45% (MAUCHAMP; JANEAU, 1993) da precipitação. Nota-se ainda que os trabalhos que analisam apenas uma espécie (MARTINEZ-MEZA; WHITFORD, 1996; WHITFORD et al., 1997) apresentam maiores escoamentos pelo tronco 26 e 27% respectivamente. Já os trabalhos que foram realizados em florestas registraram um escoamento pelo tronco de 1,2% a 13,6% (ABOAL et al., 1999; BELLOT et al., 1999)

Llorens & Domingo (2007) apresentam trabalho trás uma revisão sobre os trabalhos de interceptação vegetal realizados no Mediterrâneo Europeu. Os autores lamentam a dificuldade pela falta de padronização para realização desse tipo de experimento dificultando a realização de trabalhos sobre revisão na área. O trabalho realizado pelos autores, conta com muitos estudos realizados na região semiárida, principalmente na Espanha. Entre os trabalhos apresentado nessa revisão, estão o de (DUNKERLEY, 2000), que analisou muitas espécies de arbustos tícos de climas áridos e semiáridos. Os autores da revisão mostram ainda que apenas 11% dos estudos são realizados em arbustos (predominantes em regiões semiáridas) e evidenciam a falta de mais estudos nessa região.

Muzylo et al., (2009) traz um trabalho sobre revisão de modelos com base física para a estimativa de interceptação vegetal. Embora o trabalho apresente 11 modelos distintos, o

modelo de Gash espaço é o que mais utilizado para a região semiárida. Contudo nos estudos apresentados até 2008 foi possível notar a aplicação dos modelos de Rutter (DOMINGO et al., 1998), Gash (NAVAR; BRYAN, 1994) e Gash espaço (NAVAR et al., 1999a; JACKSON, 2000). Entretanto, quando comparado com outros climas os estudos de modelagem são muito escassos para os climas secos.

Giglio; Kobiyama (2013) abordam uma revisão de literatura sobre os estudos de interceptação em diferentes florestas no Brasil. Até o presente estudo, apenas o trabalho de Medeiros et al. (2009), trabalhou medindo e modelando dados de interceptação para a vegetação caatinga, típica do clima semiárido brasileiro. O estudo aponta ainda a dificuldade de outros trabalhos (MONTENEGRO; RAGAB, 2012) para a realização de outros trabalhos hidrológicos por falta de informações do quanto é interceptado por aquela vegetação.

Artigos publicados em diferentes regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas no mundo

Considerou-se essencial acompanhar a quantidade de estudos em regiões árida, semiáridas e hiper-áridas subdivididos ao longo do mundo (Figura 1). Nestas áreas constatou-se 46 trabalhos publicados, quando comparado com trabalhos publicados que quantificaram o número de trabalhos já publicados com o tema interceptação vegetal em outras regiões não áridas (MUZYLO et al., 2009; GIGLIO & KOBİYAMA, 2013) esse número é considerado baixo.

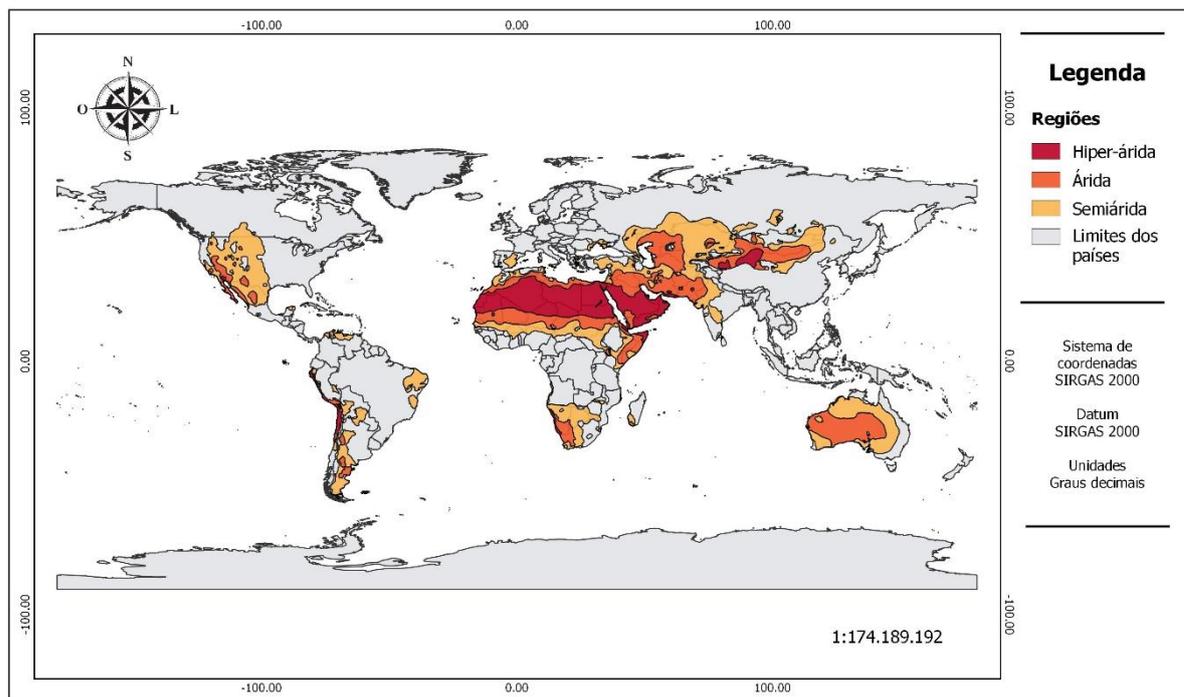


Figura 1 - Distribuição das regiões áridas, sem-áridas e hiper-áridas pelo mundo (Adaptado de UNEP-WCMC, 2007)

Marrocos, Argélia e Líbia

Dentre os locais em estudo, essa foi a região que se obteve o menor número de trabalhos publicados na área. Apenas o trabalho de Albergel et al. (2011) (Tabela 2). O trabalho traz como resultado que para a região a interceptação vegetal é em torno de 20 a 30%. Notou-se ainda uma dificuldade em encontrar trabalhos publicados na língua inglesa para esta região, o que dificultou a realização deste trabalho.

Tabela 2 - Estudos de Interceptação vegetal na região do Marrocos, Argélia e Líbia

Autores	Ano Do estudo	Particionamento (%)	Formação Vegetal investigada	Foco do trabalho	País de Estudo
Albergel et al. (2011)	*	I – 20,0 – 30,0 Pi - * Esc - *	Floresta	Importância da vegetação nos recursos hídricos	Líbia

* Não mencionado no trabalho; I – Interceptação; Pi – Precipitação interna; Esc – Escoamento pelo tronco

Países do mediterrâneo da Europa

Os trabalhos no mediterrâneo Europeu (Tabela 3) apresentam uma maior diversificação, desde a medida em espécies específicas, passando por florestas e até mesmo a modelagem hidrológica do processo. Entretanto, observou-se que a maioria dos trabalhos são datados ainda do século XX, necessitando de trabalhos mais atuais para a região nessa linha hidrológica. Nota-se ainda que as perdas por interceptação podem representar 50% da precipitação.

Tabela 3 - Estudos de Interceptação vegetal nos países do mediterrâneo da Europa

Autores	Ano do estudo	Particionamento (%)	Formação Vegetal investigada	Foco do trabalho	País de Estudo
Nizinski & Saugier (1988)	1981 - 1983	I - 28,8 Pi - 70,6 Esc - 0,6	Floresta	Perdas por Interceptação	França
Bellot & Escarre (1998)	1998	I - 12,9 Pi - 75,0 Esc - 12,1	Floresta	Perdas por Interceptação	Espanha
Domingo et al. (1998)	1994-1995	I - * Pi - * Esc - *	<i>Anthyllis cytisoides</i> <i>L. e Retama sphaerocarpa</i> (L.) <i>Boiss e Tussock grass (Stipa tenacissima</i> L.)	Modelagem	Espanha
Serrato & Díaz (1998)	1993-1995	I - 23,5 - 30 Pi - 70 - 76,5 Esc - 1,9 - 20,6	Floresta	Perdas por Interceptação	Espanha
David et al. (2006)	1996-1998	I - 22 - 28 Pi - * Esc - *	Floresta	Perdas por Interceptação	Portugal
Garcia Estringana (2011)	2007	I - 13,0 - 50,0 Pi - 44,4 - 66,2 Esc - 5,6 - 20,8	Florestas	Perdas de Solo	Espanha

* Não mencionado no trabalho; I - Interceptação; Pi - Precipitação interna; Esc - Escoamento pelo tronco

Países próximos ao Oriente Médio

Assim como nos países como Líbia e Marrocos, teve-se dificuldades em encontrar trabalhos publicados em língua inglesa. Contudo entre as regiões apresentadas nesse trabalho de revisão, essa foi a que apresentou maior quantidade de trabalhos que aborda o tema interceptação, totalizando 10 artigos. O maior número de trabalhos publicados nessa região é

atribuído aos grupos de pesquisas que trabalham diretamente com esse tema, variando desde pesquisa com espécies específicas a modelagem. Os estudos na região mostram elevadas perdas por interceptação para algumas espécies como a *Cupressus arizonica* podendo interceptar até 47% (Tabela 4).

Tabela 4 – Estudos de Interceptação vegetal nos países próximo ao Oriente médio

Autores	Ano do estudo	Particionamento (%)	Formação Vegetal investigada	Foco do Trabalho	País de Estudo
Ahmandi et al., (2011)	2008-2009	I – 28,1 Pi – 69,4 Esc – 2,5	Floresta	Perdas por Interceptação	Irã
Motahari et al (2013)	2009-2010	I – 37,2 Pi - * Esc – *	Floresta	Modelagem	Irã
Attarod et al (2014)	2009-2010	I – 34,0 – 47,0 Pi - * Esc - *	<i>Pinus eldarica</i> e <i>Cupressus arizonica</i>	Perdas por Interceptação	Irã
Sadeghi et al (2014)	2012	I - 34,2 - 44,6 Pi – 55,8 – 65,6 Esc - *	<i>P. eldarica</i> e <i>C. arizonica</i>	Perdas por Interceptação	Irã
Sadeghi et al (2015a)	2012-2013	I – * Pi - * Esc - *	<i>P. eldarica</i> e <i>C. arizonica</i>	Modelagem	Irã
Sadeghi et al (2015b)	2012-2013	I - 14,1 - 22,5 Pi – 77,5 – 85,9 Esc - *	<i>F. rotundifolia.</i>	Perdas por Interceptação	Irã
Sadeghi et al (2016)	2011– 2014	I – 4,8 – 68,0 Pi – 32 – 82,8 Esc – 0,0 – 22,0	(<i>Pinus eldarica</i> , <i>Cupressus arizonica</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , e <i>Fraxinus rotundifolia</i>)	Perdas por Interceptação	Irã
Sadeghi et al (2017)	2013 – 2015	I – 11,0 Pi – 82,5 Esc – 6,5	<i>A. altissima</i>	Perdas por Interceptação	Irã
Fathizadeh et al (2017)	2015 – 2016	I - 10,2 Pi – 89,8 Esc - *	Floresta	Perdas por Interceptação	Irã

* Não mencionado no trabalho; I – Interceptação; Pi – Precipitação interna; Esc – Escoamento pelo tronco

Ásia Central

Nota-se que há muitos trabalhos que negligenciado a interceptação por considerarem uma fração pequena dentro do ciclo hidrológico (SHARDA et al., 2006; MASSUEL et al., 2013) e outros trabalhos focam apenas em uma parte do particionamento como o escoamento pelo tronco (ZHANG et al., 2013). Embora negligenciado, observou-se que na região a interceptação é responsável por até 29,1% da precipitação (Tabela 5). Nota-se ainda poucos trabalhos na área de modelagem para essa região.

Tabela 5 – Estudos de Interceptação vegetal nos países da Ásia Central

Autores	Ano do estudo	Particionamento (%)	Formação Vegetal investigada	Foco do Trabalho	País de Estudo
Wang et al., (2005)	2002–2004	I -6,9 - 11,7 Pi – 88,3 – 93,1 Esc -*	<i>Artemisia ordosica</i> Krasch. (<i>A. ordosica</i>) e <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (<i>C. korshinskii</i>). <i>Artemisia ordosica</i> Krasch, <i>Agriophyllum squarrosum</i> (Linn.) Moq.	Perdas por Interceptação	China
Yang et al (2008)	2006	I - * Pi - * Esc – 2,7 – 7,6	<i>Corispermum</i> Krasch, <i>Agriophyllum squarrosum</i> (Linn.) Moq., <i>Corispermum puberulum</i> Iljin, e <i>Psammochloa villosa</i>	Escoamento pelo tronco	China
Wang et al., (2012)		I – 11,0 – 58,0 Pi - * Esc - *	<i>C. korshinskii</i>	Perdas por Interceptação	China
He et al., (2014)	2011 –2012	I - 35,1 Pi – 64,9 Esc - *	(<i>P. crassifolia</i>)	Variabilidade Espacial	China
Zhang et al., (2015)	2011 –2013	I -16,7 - 22,3 Pi – 74,3 – 74,8 Esc – 2,9 – 9,0	<i>C. korshinskii</i> e <i>A. ordosica</i> .	Perdas por Interceptação	China
Zhang et al., (2016)	2004 –2014	I -29,1 - 17,1 Pi – 70,9 – 83 Esc - *	<i>C. korshinskii</i> e <i>A. ordosica</i>	Perdas por Interceptação	China
Zhang et al., (2017)		I -24,9 - 19,2 Pi – 82,2 – 70,7 Esc – 2,9 – 10,1	<i>H. rhamnoides</i> e <i>S. pubescens</i>	Perdas por Interceptação	China

* Não mencionado no trabalho; I – Interceptação; Pi – Precipitação interna; Esc – Escoamento pelo tronco

Austrália

Nota-se que alguns trabalhos focam apenas em uma parte do particionamento como o escoamento pelo tronco (CROCKFORD; RICHARDSON, 1990a; CROCKFORD; RICHARDSON, 1990b). Observa-se na Tabela 6, que há uma falta de trabalhos referentes a modelagem. Trabalhos de modelagem tornam-se importantes uma vez que o processo de coleta no campo é trabalhoso e lento, necessitando de mão de obra suficiente para coletas evento a evento. Nota-se ainda que a interceptação variou de 13 a 30,9%.

Tabela 6 – Estudos de Interceptação vegetal na Austrália

Autores	Ano do estudo	Particionamento (%)	Formação Vegetal investigada	Foco do Trabalho	País de Estudo
Pressland (1973)	1970-1972	I – 13,0 Pi – 69,0 Esc – 18,0	<i>Acacia aneura</i>	Perdas por Interceptação	Austrália
Pressland (1976)	1972-1973	I – 14,0 Pi - * Esc - *	Floresta	Infiltração de água no solo	Austrália
Tunstall & Connor (1981)	1968-1969	I – 15,0 Pi - * Esc - *	<i>Acacia harpophylla</i> <i>F. Muell. ex Benth</i>	Infiltração de água no solo	Austrália
Crockford & Richardson (1990c)	1980-1981	I - 22,6 Pi – 70,9 Esc – 6,5	Floresta	Perdas por Interceptação	Austrália
Swaffer et al. (2014)	2008-2010	I - 30,9 - 31,4 Pi – 65,9 – 66,4 Esc – 2,7	Floresta	Perdas por Interceptação	Austrália

* Não mencionado no trabalho; I – Interceptação; Pi – Precipitação interna; Esc – Escoamento pelo tronco

Zonas do Saara, Sudão, África e Madagascar

Assim como em outras regiões, alguns trabalhos negligenciam a interceptação vegetal em seus cálculos de balanço hídrico (GLOVER et al., 1962; ONG et al., 2000; ROWAILY et al., 2012). Apenas dois trabalhos foram encontrados para essa região e nota-se que em áreas de floresta a interceptação variou de 22 a 25% (Tabela 7). Essa foi a região em estudo como a maior escassez de trabalhos na área, não apresentando trabalhos com espécies predominantes na região nem trabalhos na área de modelagem.

Tabela 7 – Estudos de Interceptação vegetal nas zonas do Saara, Sudão, África e Madagascar

Autores	Ano do estudo	Particionamento (%)	Formação Vegetal investigada	Foco do Trabalho	País de Estudo
Jackson (1975)	1969-1972	I – 25,0 Pi - * Esc - *	Floresta	Perdas por Intercepção	África Oriental
Samba et al. (2001)	1994	I – 22,0 Pi - * Esc - *	Floresta	Perdas por Intercepção	Quênia

* Não mencionado no trabalho; I – Intercepção; Pi – Precipitação interna; Esc – Escoamento pelo tronco

América do Norte

Os trabalhos publicados nessa região, concentram-se no México e Estados Unidos. Nota-se que os trabalhos são realizados por grupos de pesquisa que focam apenas em alguma parte do particionamento da chuva (NAVAR, 1993; NAVAR, 2011). Para essa região encontrou-se a maior quantidade de trabalhos na área de modelagem e o segundo maior número de trabalhos publicados, evidenciando o alto investimento realizado por esses países em todas as áreas de pesquisa. Observa-se na Tabela 8, que as perdas por intercepção variaram de 13% para áreas de floresta e chegou a 55% para as espécies *Larrea tridentata* e *Flourensia Cernua*.

Tabela 8 – Estudos de Intercepção vegetal nos países da América do Norte

Autores	Ano do estudo	Particionamento (%)	Formação Vegetal investigada	Foco do Trabalho	País de Estudo
Helvey & Patric (1965)	1964	I – 13,0 Pi - * Esc - *	Floresta	Perdas por Intercepção	Estados Unidos
Tromble (1983)	1979	I -15,2 Pi - * Esc - *	<i>Flourensiu cernua</i> (DC)	Perdas por Intercepção	México
Tromble (1988)	1979	I – 6,0 – 30,0 Pi – 0,0 Esc – 0,0	<i>Larrea tridentata</i> e <i>Flourensia Cernua</i>	Perdas por Intercepção	México
Navar & Bryan (1990)	1989	I - 27,2 Pi – 67,9 Esc – 4,9	<i>Diospyrus texana</i> , <i>Acacia farnesiana</i> e <i>Prosopis laevigata</i>	Perdas por Intercepção	México
Navar (1993)	1987	I - * Pi - * Esc – 0,7 – 5,1	<i>Diospyrus texana</i> , <i>Acacia farnesiana</i> e <i>Prosopis laevigata</i>	Escoamento pelo tronco	México
Navar & Bryan (1994)	1989	27,94	<i>D. texana</i> , <i>A.farnesiana</i> e <i>P. laevigata</i>	Modelagem	México

Meza & Whitford (1996)	1990 –1992	I – 27,0 Pi – 73,0 Esc – 0,0	F. cernua, P. glandulosa	Perdas por Intercepção	México
Whitford (1997)	1985	I – 27,0 - 33,4 Pi – 3,2 - 64,7 Esc – 1,9 - 16,8	<i>Larrea tridentata</i>	Perdas por Intercepção	México
Navar et al., (1999)	1997	I -16,5 - 17,3 Pi - * Esc - *	Floresta	Modelagem	México
Owens et al., (2006)	2000	I – 20,0 Pi – 80,0 Esc - *	Floresta	Perdas por Intercepção	Estados Unidos
Navar (2017)	2014- 2015	I -14,0 – 26,0 Pi - * Esc - *	Floresta	Modelagem	México

* Não mencionado no trabalho; I – Intercepção; Pi – Precipitação interna; Esc – Escoamento pelo tronco

América do Sul

Dentre as regiões em estudo, essa apresenta as maiores alturas de chuva, contudo poucos trabalhos levam em consideração a intercepção vegetal. Nota-se que ainda são poucos os trabalhos (Tabela 9) e a maioria foca em florestas, necessitando do conhecimento específico de algumas espécies predominantes na região. Observa-se ainda que a intercepção vegetal variou de 13 a 35,6%.

Tabela 9 – Estudos de Intercepção vegetal nos países da América do Sul

Autores	Ano do estudo	Particionamento (%)	Formação Vegetal investigada	Foco do trabalho	País do estudo
Medeiros et al., (2009)	2003 - 2005	I -13,0 Pi – 81,0 Esc – 6,0	Floresta	Modelagem	Brasil
Albuquerque & Costa (2012)	2008	I - 18 - 35,6 Pi - * Esc - *	Floresta	Perdas por Intercepção	Brasil
Izidio et al., (2013)	2010	I - 17,9 Pi – 76,5 Esc – 5,9	Floresta	Perdas por Intercepção	Brasil
Brasil et al., (2017)	2010 – 2015	I - 18,4 Pi – 79,6 Esc – 2,0	Floresta	Perdas por Intercepção	Brasil

* Não mencionado no trabalho; I – Intercepção; Pi – Precipitação interna; Esc – Escoamento pelo tronco

Distribuição pelo mundo

Analisando-se as distribuições dos trabalhos pelo mundo (Figura 2) nota-se a maior concentração de trabalhos realizados na região europeia e oriente médio, quando comparado com outras regiões no mundo. Isso vai ao encontro de que a maioria dos trabalhos precursores e modelos hidrológicos foram desenvolvidos em institutos de pesquisa europeus. Em contrapartida, relativamente poucos estudos de aplicação lidam com a África ou América do Sul, que, como esperado, coincide com uma tendência geral na pesquisa científica.

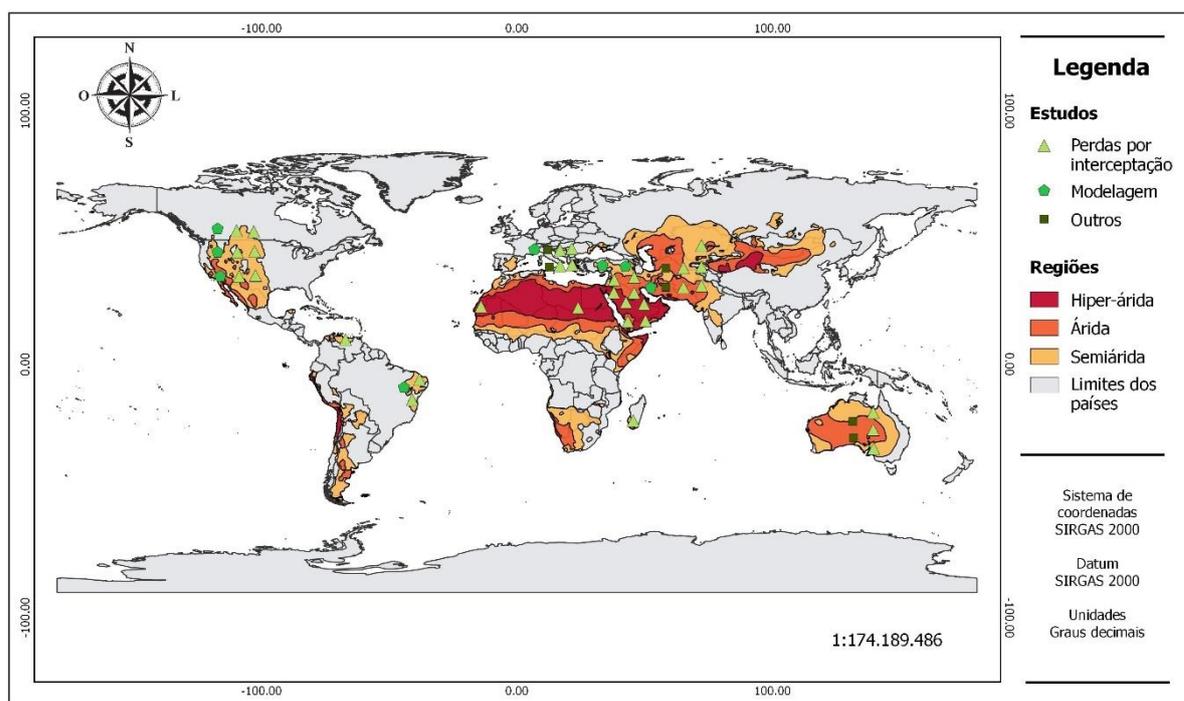


Figura 2 – Distribuição dos estudos de interceptação, modelagem e outros trabalhos que citam a interceptação nas regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas no mundo (Adaptado de UNEP-WCMC, 2007)

Especificidade dos trabalhos

Dentre os trabalhos aqui analisados, 46 ao todo, 70% focam em estudos de interceptação vegetal (Figura 3), sendo este tipo de trabalho realizado em todas as regiões em estudo. Nota-se ainda que estudando o particionamento da precipitação alguns trabalhos negligenciam o escoamento pelo troco.

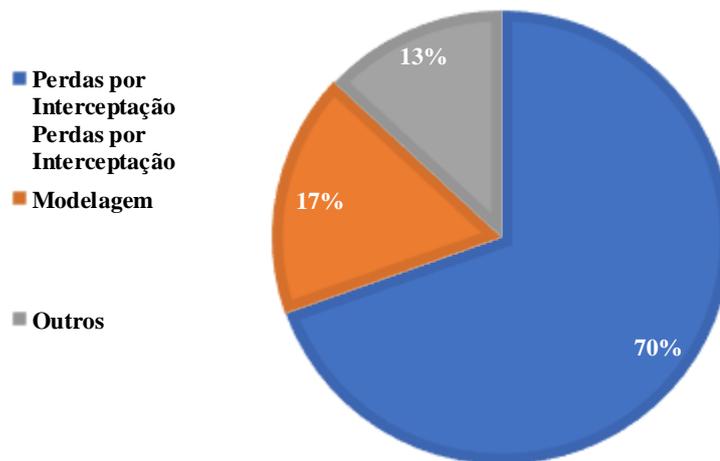


Figura 3 – Porcentagem dos trabalhos de Interceptação, modelagem e outros trabalhos que citam a interceptação nas regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas no mundo

Observa-se ainda na Figura 3, nota-se que 17% são trabalhos com modelagem, dentre esses trabalhos o modelo de Gash está presente em 100%, sendo o modelo mais utilizado. Já o modelo de Rutter é aplicado em 40% dos trabalhos, já outros modelos como o de Li, é aplicado apenas em 5% dos trabalhos aqui analisados.

Considerações finais

A compreensão dos mecanismos envolvidos nesses processos ainda está insatisfatória, para as regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas. Com a extensão que esse clima tem sobre o mundo, a compreensão da influência de toda a sua vegetação nos processos hidrológicos se faz necessária.

Nota-se uma distribuição desuniforme das pesquisas de interceptação da chuva pela vegetação ao longo do mundo. A região do Oriente médio, América do Norte e Ásia Central, concentram 58% dos estudos sobre o assunto tendo a interceptação vegetal variando de 6 a 68 % da precipitação. Por outro lado, as regiões secas da Líbia, Marrocos e Argélia contém uma grande escassez de dados nessa linha hidrológica. Esse fato deve servir de alerta para a necessidade de se voltar a atenção para esse processo hidrológico nesses ambientes.

Atualmente existe poucos trabalhos com modelos para essas regiões áridas, embora Muzylo et al., (2009) cite a existência de mais de 15 modelos para a interceptação vegetal, com a exceção de Gash e Rutter, os demais modelos são pouco testados para essas condições, isso por esses modelos apresentarem-se satisfatório para o clima e os demais modelos necessitarem

de muitos parâmetros de entrada. Nota-se ainda que muitos trabalhos com balanço hídrico negligenciam os dados de interceptação vegetal, por muitas vezes por não haver estudos dessa variável para aquela região.

Atualmente os trabalhos variam muito com relação ao tempo experimental, contudo para dados medidos, é necessário no mínimo um ano hidrológico, já para modelagem se faz necessário mais tempo de estudo, uma vez que se busca cada vez mais a validação desses modelos, recomendando-se no mínimo três anos com as alturas precipitadas próximas as médias históricas da região.

Recomenda-se profundamente a inclusão de estudos de interceptação nessas áreas de condições semiáridas, áridas e hiper-áridas para avançar o conhecimento desse processo tanto em espécies como para dados de modelos, que seja de interceptação, ou modelos de balanço hídrico para regiões áridas, semiáridas e hiper-áridas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro e bolsas concedida aos autores.

Referências

- ABOAL, J. R.; MORALES, D.; HERNÁNDEZ, M.; JIMÉNEZ, M. S. The measurement and modelling of the variation of stemflow in laurel forest in Tenerife, Canary Islands. **Journal. Hydrology**. v. 221, p. 161–175, 1999
- AHMADI, M. T.; ATTAROD, P.; BAYRAMZADEH, V. Rainfall Redistribution by an Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forest Canopy in the Caspian Forest, North of Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 13, p. 1105-1120, 2011.
- ALBERGEL, J.; COLLINET, J.; ZANTE, P.; HAMROUNI, H. Role of the Mediterranean forest in soil and water conservation. Water for forests and people in the Mediterranean region: a challenging balance. **What Science Can Tell Us**, n. 1, 2011.
- ALBUQUERQUE, F. N. B.; COSTA, J. S. Interceptação de chuva em diferentes fisionomias de caatinga (Coreaú, CE). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 16, p. 63-76, 2012.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p.257-262, 2003.

- ARNELL, N. **Hydrology and Global Environmental Change**. Pearson Education, Harlow. 346 p. 2002.
- ATTAROD, P.; SADEGHI, S. M. M.; PYPKER, T. G.; BAGHERI, H.; BAGHERI, M.; BAYRAMZADEH. Needle-leaved trees impacts on rainfall interception and canopy storage capacity in an arid environment. **New Forests**, v. 46, n. 3, p. 339-355, 2015.
- BELLOT, J.; ESCARRE, A. Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean holm-oak forest. In: **Annales des sciences forestières**. EDP Sciences, 1998. p. 847-865.
- BELLOT, J.; ÀVILA, A.; RODRIGO, A. Throughfall and stemflow. In: Roda', F., Retana, J., Gracia, C.A., Bellot, J. (Eds.), **Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests**, Springer, New York, p. 209–222, 1999
- BRASIL, J. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAUJO NETO, J. R.; RIBEIRO FILHO, J. C.; ANDRADE, E. M. Características das chuvas e interceptação vegetal no bioma caatinga. **IRRIGA**, v. 22, n. 3, p. 560-574, 2017.
- BRAUMAN, K.A.; FREYBERG, D. L.; DAILY, G. C. Forest structure influence on rainfall partitioning and cloud interception: a comparison of native forest sites in Kona, Hawai'i. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 2, p. 265-275, 2010.
- CARLYLE-MOSES, D. E.; LISHMAN, C. E.; MCKEE, A. J. A preliminary evaluation of throughfall sampling techniques in a mature coniferous forest. **Journal of Forestry Research**, New York, v. 25, n. 2, p. 407-413, 2014.
- CHAFFE, P. L. B.; KOBIYAMA, M.; YAMASHIKI, Y.; TAKARA. Is interception information important for rainfall-runoff modeling. **Annual Journal of Hydraulic Engineering**, v. 54, p. 73-78, 2010.
- CHEN, Y. Y.; LI, M. H. Quantifying Rainfall Interception Loss of a Subtropical Broadleaved Forest in Central Taiwan. **Water**, Haidian, v. 8, n. 1, p. 14, 2016.
- COUTURIER, D. E.; RIPLEY, E. A. Rainfall interception in mixed grass prairie. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 53, p. 659 - 663, 1973.
- CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia: I throughfall measurement in a eucalypt forest: effect of method and species composition. **Hydrological Processes**, v. 4, 131-144, 1990a.
- CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia: II stemflow and factors affecting stemflow in a

dry sclerophyll eucalypt forest and a pinus radzata plantation. **Hydrological Processes**, v. 4, 145-155, 1990b.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and Pine plantation in southeastern Australia: IV the Relationship of interception and canopy storage Capacity, the interception of these forests, and the effect on interception of thinning the pine Plantation. **Hydrological Processes**, v. 4, 169-188, 1990c.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, Malden, v. 14, n. 16-17, p. 2903-2920, 2000.

DAVID, T. S.; GASH, J. H. C.; VALENTE, F.; PEREIRA, J. S.; FERREIRA, M. I.; DAVID, J. S. Rainfall interception by an isolated evergreen oak tree in a Mediterranean savannah. **Hydrological Processes**, v. 20, n. 13, p. 2713-2726, 2006.

DOMINGO, F.; SÁNCHEZ, G.; MORO, M. J.; BRENNER, A. J.; PUIGDEFÁBREGAS. Measurement and modelling of rainfall interception by three semi-arid canopies. **Agricultural and forest meteorology**, v. 91, n. 3, p. 275-292, 1998.

DUNKERLEY, D. Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation. A brief review and evaluation of available research strategies. **Hydrological Processes**. v.14, p. 669–678, 2000.

FAN, J.; OESTERGAARD, K. T.; GUYOT, A.; LOCKINGTON, D. A. Measuring and modeling rainfall interception losses by a native Banksia woodland and an exotic pine plantation in subtropical coastal Australia. **Journal of hydrology**, v. 515, p. 156-165, 2014.

FATHIZADEH, O.; HOSSEINI, S. M.; ZIMMERMANN, A.; KEIM, R. F.; BOLOORANI, A. D. Estimating linkages between forest structural variables and rainfall interception parameters in semi-arid deciduous oak forest stands. **Science of The Total Environment**, v. 601, p. 1824-1837, 2017.

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

GARCÍA ESTRÍNGANA, P. **Efectos de diferentes tipos de vegetación mediterránea sobre la hidrología y la pérdida de suelo**. (2011). Tese de Doutorado. Universidad de Alcalá

GASH, J. An analytical model of rainfall interception by forest. Quarterly. **Journal of the Royal Meteorological Society** v. 105, p. 43–55. 1979.

GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. Interceptação da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 297-317, 2013.

GLOVER, P. E.; GLOVER, J.; GWYNNE, M. D. Light Rainfall and Plant Survival in E. Africa II. Dry Grassland Vegetation. **Journal of Ecology**, v. 50, n. 1, p. 199-206, 1962.

HE, Z. B.; YANG, J. J.; DU, J.; ZHAO, W. Z.; LIU, H.; CHANG, X. X. Spatial variability of canopy interception in a spruce forest of the semiarid mountain regions of China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 188, p. 58-63, 2014.

HELVEY, J. D.; PATRIC, J. H. Canopy and Litter Interception of Rainfall by Hardwoods of Eastern United States. **Water resources research**, v. 1, n. 2, p. 193 – 206, 1965.

HORTON, R. E. Rainfall interception. **Monthly Weather Review**, vol. 47, n. 9, p. 603-623, 1919.

IIDA, S. I., LEVIA, D. F.; SHIMIZU, A.; SHIMIZU, T.; TAMAI, K.; NOBUHIRO, T.; ARAKI, M. Intrastorm scale rainfall interception dynamics in a mature coniferous forest stand. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 770-783, 2017.

IZÍDIO, N. S. C.; PALACIO, H. A. Q.; ADRADE, E. M.; ARAUJO NETO, J.R.; BATISTA, A. A. Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Agro@mbiente On-line**, v. 7, p. 44-52-52, 2013.

JACKSON, I. J. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest. **Journal of Hydrology**, v. 24, p.215-238, 1975.

JACKSON, N. Measured and modelled rainfall interception loss from an agroforestry system in Kenya. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 100, p. 232–336, 2000.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of Hydrology**, v. 274, n. 1, p. 1-29, 2003.

LIU, X.; HE, Y.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; LI, Y.; YUN, J.; WEI, S.; YUE, X.. The response of soil water and deep percolation under *Caragana microphylla* to rainfall in the Horqin Sand Land, northern China. **Catena**, v. 139, p. 82-91, 2016.

LIVESLEY, S. J.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. Rainfall interception and stemflow by eucalypt street trees—The impacts of canopy density and bark type. **Urban Forestry Urban Greening**, v. 13, n. 1, p. 192-197, 2014.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 335, n. 1, p. 37-54, 2007.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. Escoamento da água da chuva pelo tronco das árvores em uma floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore (Online)**, v. 39,

MASSUEL, S.; GEORGE, B. A.; VENOT, J. P.; BHARATI, L.; ACHARYA, S. Improving assessment of groundwater-resource sustainability with deterministic modelling: a case study of the semi-arid Musi sub-basin, South India. **Hydrogeology journal**, v. 21, n. 7, p. 1567, 2013.

MAUCHAMP, A.; JANEAU, J.L. Water funnelling by the crown of *Flourensia cernua*, a Chihuahuan Desert shrub. **Journal Arid Environ.** v. 25, p. 299–306, 1993.

MARTINEZ-MEZA, E.; WHITFORD, W. G. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan desert shrubs. **Journal Arid Environ.** v. 32, p. 271–287, 1996.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 165-174, 2009.

MEZA, E. M.; WHITFORD, W. G. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan desert shrubs. **Journal of Arid Environments** v. 32, p. 271-287, 1996.

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 434 - 435, p.55 - 68, 2012.

MOTAHARI, M.; ATTAROD, P.; PYPKER, T. G.; ETEMAD, V.; SHIRVANY, A. Rainfall interception in a *Pinus eldarica* plantation in a semi-arid climate zone: an application of the gash model. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 15, n. 5, p. 981-994, 2013.

MOURA, A. E. S. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; LIMA, G. S.; SENA, J. R. FIGUEIREDO, A. C. Precipitação efetiva nos períodos chuvoso e pouco chuvoso em um fragmento de floresta da Mata Atlântica, Recife, PE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 4, p. 7 - 16, 2012.

MURAKAMI, S. Application of three canopy interception models to a young stand of Japanese cypress and interpretation in terms of interception mechanism. **Journal of Hydrology**, v. 342, p. 305 – 319, 2007.

- MUZYLO, A.; LLORENS, P.; VALENTE, F.; KEIZER, J. J.; DOMINGO, F.; GASH, J. H. C. A review of rainfall interception modelling. **Journal of hydrology**, v. 370, n. 1, p. 191-206, 2009.
- NAVAR, J.; BRYAN, R. Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in northeastern México. **Journal of Hydrology**, v. 115, p. 51-63, 1990
- NAVAR, J. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico. **Journal of Hydrology**, v.145, p. 175-190, 1993.
- NAVAR, J.; BRYAN, R. B. Fitting the analytical model of rainfall interception of Gash to individual shrubs of semi-arid vegetation in northeastern México. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 68, p. 133-143, 1994.
- NAVAR, J.; CARLYLE-MOSES, D. E.; MARTINEZ, M. A. Interception loss from the Tamaulipan matorral thornscrub of north-eastern México: an application of the Gash analytical interception loss model. **Journal of Arid Environments**, 41, 1-10, 1999a.
- NAVAR, J.; CHARLES, F.; JURADO, E. Spatial variations of interception loss components by Tamaulipan thornscrub in northeastern Mexico. **Forest Ecology and Management** v. 124, p. 231 – 239, 1999b.
- NAVAR, J. Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: Its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. **Journal of Hydrology** v. 408 p. 35–42, 2011.
- NAVAR, J. Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico. **Journal of Hydrology**, v. 548 p. 458-470, 2017.
- NIZINSKI, J.; SAUGIER, B. Mesures et modélisation de l'interception nette dans une futaie de chênes. **Acta Ecologica**. Oecologia plantarum, v. 9, n. 3, p. 311-329, 1988.
- OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.9-15, 2005.
- ONG, C.K.; BLACK, C. R.; WALLACE, J. S.; KHAN, A. A. H.; LOTT, J.E.; JACKSON, N.A.; HOWARD, S. B.; SMITH, D. M. Productivity, microclimate and water use in *Grevillea robusta*-based agroforestry systems on hillslopes in semi-arid Kenya. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.80, p. 121–141, 2000.
- OWENS, M. K.; LYONS, R. K.; ALEJANDRO, C. L. Rainfall partitioning within semiarid juniper communities: effects of event size and canopy cover. **Hydrological processes**, v. 20, p. 3179–3189, 2006.

p. 423-430, 2015.

PENMAN, H. L. **Vegetation and Hydrology**. 1 st ed. England: C. A. B (Commonwealth Agricultural Bureaux), 1963. 124 p

PRESSALAND, A. J. Rainfall partitioning by an arid woodland (*acacia aneura* f. Muell.) In south-western Queensland. **Aust. J. Bot.**, v. 21, p. 235-245, 1973.

PRESSALAND, A. J. Soil Moisture Redistribution as affected by Throughfall and Stemflow in an Arid Zone Shrub Community. **Aust. J. Bot.**, 1976, 24, 641-649

RAGAB, R; PRUDHOMME, C. Sw—soil and Water: climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. **Biosystems engineering**, v. 81, n. 1, p. 3-34, 2002.

REYNOLDS, J. F. Desertification. In: Levin SA (ed) Encyclopedia of biodiversity, vol 2. Academic Press, London, pp 61–78. 2001.

ROWAILY, S. L. A.; BANA, M. I. E.; DUJAIN, A. R. A. Changes in vegetation composition and diversity in relation to morphometry, soil and grazing on a hyper-arid watershed in the central Saudi Arabia. **Catena** v. 97, p. 41–49, 2012.

RUTTER, A.; MORTON, A.; ROBINS, P. A predictive model of rainfall interception in forests. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. **Journal of Applied Ecology** 12, 367–380. 1975.

SADEGHI, S. M. M.; ATTAROD, P.; PYPKER, T. G.; DUNKERLEY, D. Is canopy interception increased in semiarid tree plantations? Evidence from a field investigation in Tehran, Iran. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 38, n. 6, p. 792-806, 2014.

SADEGHI, S. M. M.; ATTAROD, P.; PYPKER, T. G. Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. plantation located in a semiarid climate. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 17, n. 1, p. 145-156, 2015a.

SADEGHI, S. M. M.; ATTAROD, P.; VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G.; DUNKERLEY, D. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 201: p. 76-85, 2015b.

SADEGHI, S. M. M.; ATTAROD, P.; VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G. The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. **Science of the Total Environment**, v. 568, p. 845-855, 2016.

SADEGHI, S. M. M.; VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G.; FRIESEN, J. Canopy hydrometeorological dynamics across a chronosequence of a globally invasive species, *Ailanthus altissima* (Mill., tree of heaven). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 240, p. 10-17, 2017.

SAMBA, S. A. N.; CAMIRE, C.; MARGOLIS, H. A. Allometry and rainfall interception of *Cordyla pinnata* in a semia-arid agroforestry parkland, Senegal. **Forest Ecology and management**, v. 154, p. 277-288, 2001.

SARI, V. **Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região de Santa Maria – RS**. Dissertação Mestrado. 2011.

SARI, V.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 21, n.1, p. 65-79, 2016.

secundária em Guarapuava – PR. **Revista de Geografia**, v. 14, n. 1, p. 47-60, 2005.

SERRATO, F. B.; DÍAZ, A. R. La cubierta vegetal en las regiones áridas y semiáridas: consecuencias de la interceptación de la lluvia en la protección del suelo y los recursos hídricos. **Journal of Geography**, v. 10, p. 9-22, 1998.

SHARDA, V. N.; KUROTHE, R. S.; SENA, D. R.; PANDE, V. C.; TIWARI, S. P. Estimation of groundwater recharge from water storage structures in a semi-arid climate of India. **Journal of Hydrology**, v. 329, n. 1, p. 224-243, 2006

SHINZATO, E. T.; TONELLO, K. C.; GASPAROTO, E. A. G.; VALENTE, R. O. A. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 395-402. 2011.

SOUSA, C. R.; RIZZI, N. E.; RANZINI, M.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; SILVA, L. R. Interceptação pluviométrica pelo dossel de floresta ombrófila mista alto-montana no parque estadual de campos do Jordão, SP, Brasil. **FLORESTA**, v. 46, n. 2, p. 243-250, 2016.

SWAFFER, B. A.; HOLLAND, K. L.; DOODY, T. M.; HUTSON, J. Rainfall partitioning, tree form and measurement scale: a comparison of two co-occurring, morphologically distinct tree species in a semi-arid environment. **Ecohydrol**. v.7, p. 1331–1344, 2014.

THOMAZ, E. L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta

TROMBLE, J. M. Interception of rainfall by Tarbush. **Journal of range management** v. 36, n. 4, p. 525-526, 1983.

- TROMBLE, J. M. Water interception by two arid land shrubs. **Journal of arid environments**. v. 15, p. 65-70, 1988
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade. UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Capítulo 2, v. 2, 2004.
- TUNSTALL, B. R.; CONNOR, D. J. A Hydrological Study of a Subtropical Semiarid Forest of *Acacia harpophylla* F. Muell. ex Benth. (Brigalow). **Aust. J. Bot.** v. 29, p. 311-320, 1981.
- UNEP-WCMC, 2007 A spatial analysis approach to the global delineation of dryland areas of relevance to the CBD Programme of Work on Dry and Subhumid Lands. Dataset based on spatial analysis between WWF terrestrial ecoregions (WWF-US, 2004) and aridity zones (CRU/UEA; UNEPGRID, 1991). Dataset checked and refined to remove many gaps, overlaps and slivers (July 2014).
- WANG, X. P.; LI, X. R.; ZHANG, J. G.; ZANG, S. Z.; BERNDTSSON, R. Measurement of rainfall interception by xerophytic shrubs in re-vegetated sand dunes / Mesure de l'interception de la pluie par des arbustes xérophiles sur des dunes de sable replantées. **Hydrological Sciences Journal**. v. 50, n. 5, p. 897-910, 2005.
- WANG, X. P.; ZHANG, Y. F.; HU, R.; PAN, Y. X.; BERNDTSSON, R. Canopy storage capacity of xerophytic shrubs in Northwestern China. **Journal of Hydrology**, v. 454-455, p. 152-159, 2012.
- WHITFORD, W. G.; ANDERSON, J.; RICE, P. M. Stemflow contribution to the 'fertile island' effect in creosotebush, *Larrea tridentata*. **Journal Arid Environ.** v. 35, p. 451-457, 1997.
- YANG, Z. P.; LI, X. Y.; LIU, L.Y.; WU, J. J.; HASI, E.; SUN, Y. L. Characteristics of stemflow for sand-fixed shrubs in Mu Us sandy land, Northwest China. **Chinese Science Bulletin**. v. 53, n. 14, p. 2207-2214, 2008.
- ZHANG, Y. F.; WANG, X. P.; HU, R., PAN, Y. X., & ZHANG, H. Stemflow in two xerophytic shrubs and its significance to soil water and nutrient enrichment. **Ecological research**, v. 28, n. 4, p. 567-579, 2013.
- ZHANG, Y. F.; WANG, X. P.; HU, R.; PAN, Y. X.; PARADELOC, M. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 527, p. 1084-1095, 2015.

ZHANG, Y.; LI, X. Y.; LI, W.; WU, X. C.; SHI, F. Z.; FANG, W. W.; PEI, T. T. Modeling rainfall interception loss by two xerophytic shrubs in the Loess Plateau. **Hydrological Processes**. v. 1, p. 1-12, 2017.

ZHANG, Z. S.; ZHAO, Y.; LI, X. R.; HUANG, L.; TAN, H. J. Gross rainfall amount and maximum rainfall intensity in 60-minute influence on interception loss of shrubs: a 10-year observation in the Tengger Desert. **Scientific Reports**. v.6, n.26030, p.1-10, 2016.

CAPITULO 2

Particionamento da chuva pelo processo de interceptação vegetal em uma bacia hidrográfica na região semiárida¹

Resumo

A compreensão do comportamento hidrológico e da distribuição da vegetação em um ambiente semiárido é crucial para o desenvolvimento de técnicas e estratégias para a convivência com as secas. Objetivou-se com esse trabalho, quantificar o particionamento da precipitação pela vegetação bem como suas relações com as propriedades da precipitação. O estudo foi desenvolvido na Bacia Riacho da Bica, em Portalegre - RN. O estudo se deu durante o período de janeiro a dezembro do ano de 2017, sendo monitorado, as variáveis: precipitação (PPT); evapotranspiração (ET_o); duração dos eventos e velocidade do vento. Com base nessas informações, calculou-se a intensidade (I) de cada evento, energia cinética (EC) e as intensidades em intervalos de 5, 10, 20, 30, 45 e 60 minutos (I₅, I₁₀, I₁₅, I₂₀, I₃₀, I₄₅ e I₆₀ respectivamente). No período de estudo foram registrados 20 eventos de chuvas. A vegetação reteve 44,9 % da precipitação do total, enquanto 52,87% contribuiu com a precipitação interna e 2,22% escoou pelos troncos. Com o auxílio de Análises das Componentes Principais, foram formadas três Componentes Principais (CP) explicando mais de 84% da variância total. Nas CP1, CP2 e CP3 foram enquadradas, respectivamente, variáveis relacionadas ao poder energético da chuva em ultrapassar a barreira física da vegetação, fluxo de entrada e saída e variáveis que mudam de acordo com o tempo de duração da chuva.

Palavras-chave: Interceptação. Precipitação Interna. Escoamento pelo tronco. Análise de componente principal.

¹ Formato e Estilo: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

CHAPTER 2

Partitioning of rain by the process of plant trapping in a watershed in the semi-arid region

Abstract

The understanding of hydrological behavior and the distribution of vegetation in a semi-arid environment is crucial to the development of techniques and strategies for coexistence with droughts. It was aimed at this work, quantifying the partitioning of precipitation by vegetation as well as its relations with the properties of precipitation. The study was developed in the Creek Basin of the spout in Portalegre-RN. The study was given during the period from January to December of the year 2017, being monitored, the variables: precipitation (PPT); Evapotranspiration (Eto); Duration of events and wind speed. Based on this information, it was calculated the intensity (I) of each event, kinetic energy (EC) and the intensities at intervals of 5, 10, 20, 30, 45 and 60 Minutes (I5, I10, I15, I20, I30, I45 and I60 respectively). During the study period, 20 rain events were recorded. The vegetation retained 44.9% of the precipitation of the total, while 52.87% contributes to the internal precipitation and 2.22% seeps through the trunks. With the aid of analyses of the main components, three main components (CP) were formed explaining more than 84% of the total variance. In the CP1, CP2 and CP3 were framed, respectively, variables related to the energetic power of the rain in exceeding the physical barrier of vegetation, flow of input and output and variables that change according to the duration of the rain.

Keywords: interception, throughfall, stemflow, principal component analysis

Introdução

Os conflitos hídricos são constantes em regiões áridas e semiáridas por escassez de água (Dunkerley, 2008a; Dunkerley, 2008b; Zang et al., 2016), agravado pelas secas cada vez mais prolongadas (Martins & Magalhães, 2015). Uma compreensão do comportamento hidrológico e da distribuição da vegetação em um ambiente semiárido é crucial para o desenvolvimento de técnicas e estratégias para a convivência com as secas (Zang et al., 2015; Ribeiro Filho et al., 2016).

Dentro do ciclo hidrológico, especialmente em áreas florestais, a determinação da interceptação vegetal, desempenha um papel fundamental para o balanço hídrico, especialmente em regiões áridas e semiáridas, uma vez que, uma parte infiltra no solo, evapora e não ocorre a recarga subterrânea (Dunkerley, 2008b; Linhoss & Siegert, 2016). O processo de chuva em áreas vegetadas é naturalmente fracionado em três parcelas: a chuva interceptada pela vegetação (que volta a atmosfera pela evaporação); a chuva que passa livremente pela vegetação ou através de respingos de folhas e galhos e atinge o solo; e a chuva que é desviada pelos troncos e chega ao solo através deles. (Giglio & Kobiyama, 2013; Izídio et al., 2013).

O particionamento da chuva pelo processo de interceptação sofre influência de diversos fatores climáticos: altura precipitada, duração, frequência, intensidade e velocidade do vento (Lloyd & Marques, 1988; Medeiros et al., 2009; Lorenzon et al., 2013; Carlyle-Moses; et al., 2014). Trabalhos recentes na área hidrológica veem identificando que algumas propriedades da precipitação, além dos parâmetros convencionais acima supracitados, fornecem informações fundamentais para processos hidrológicos como escoamento superficial e interceptação vegetal em regiões áridas e semiáridas (Dunkerley, 2008b; Figueiredo et al., 2016; Zang et al., 2016).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo, quantificar o particionamento da precipitação pela vegetação bem como suas relações com as propriedades da precipitação.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) situada dentro da Microbacia da Bica no município de Portalegre, situado na região serrana do oeste do estado do Rio Grande do Norte. A microbacia da Bica possui em suas limitações um desenho paisagístico formado por nascentes perenes, cachoeira perene e tendo despertado grande interesse para sua conservação. Na Figura 4, é apresentada a localização da Microbacia da Bica, no Estado do Rio Grande do Norte, além da área experimental para medição da interceptação.

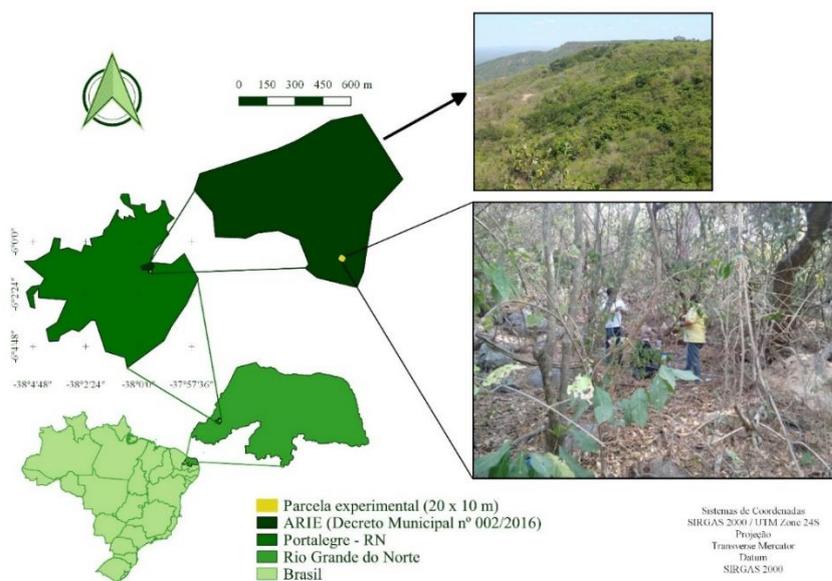


Figura 4 – Localização da área de estudo

A microbacia da bica, onde o estudo foi desenvolvido está localizada entre as coordenadas geográficas 6°01'33,04" S e 37°59'27,93" W. O clima da região é do tipo BS (semiárido quente). A precipitação média histórica (1961-2016) no município de Portalegre é de 973,8 mm, (EMPARN, 2017) com temperaturas máximas e mínimas variando entre 36,0 a 21,0 °C, respectivamente, tendo uma temperatura média de 28,1°C, com uma umidade relativa anual média de 66% e com mais de 2.700 horas de insolação anual (IDEMA, 2008).

O estudo se deu durante o período de janeiro a dezembro do ano de 2017, sendo monitorado, as variáveis: precipitação (PPT); evapotranspiração (Eto); duração dos eventos (T) e velocidade do vento (V). Com base nessas informações, calculou-se a intensidade (Int) de cada evento, energia cinética (EC) e as intensidades em intervalos de 5, 10, 20, 30, 45 e 60 minutos (I5, I10,

I15, I20, I30, I45 e I60 respectivamente). As variáveis foram monitoradas através de uma estação meteorológica, modelo WH-1080 PC da marca INSTRUTEMP[®], que com o auxílio do *software* Easy Weather, foram realizadas medições de Precipitação, Temperatura, Umidade do ar, velocidade e direção do vento, no intervalo a cada cinco minutos. Para a estimativa da Eto, utilizou-se a metodologia proposta por Hargreaves e Samani (1985).

Para o monitoramento do particionamento da precipitação, montou-se uma parcela de 200 m² (20 x 10 m), dentro da microbacia da mata da bica. Fora da parcela, instalou-se um pluviômetro do tipo *Ville de Paris* (Figura 5a) e um pluviômetro artesanal com o intuito da monitoração da precipitação externa. Dentro da parcela, instalou-se 10 pluviômetros (o qual utilizou-se a média) artesanais feitos de garrafas pet's (Figura 5b) e calibrados pelo *Ville de Paris*, para o monitoramento da precipitação interna reposicionando-os aleatoriamente a cada 15 dias dentro da parcela experimental, seguindo a metodologia proposta por Lloyd e Marques (1988).

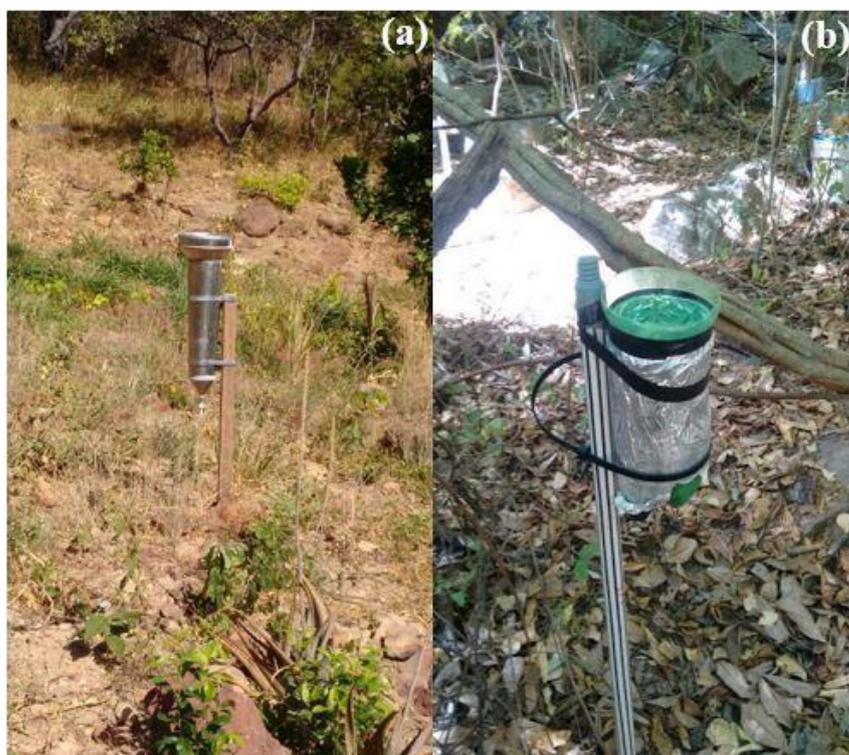


Figura 5 – Pluviômetro *Ville de Paris* (a) e Pluviômetro artesanal (b)

Na parcela experimental em estudo, foram contabilizadas 71 árvores com circunferência variando de 10 a 91,3 cm (média de 9,6 cm) (Dantas, 2016). Ainda segundo a autora, 91 % das espécies encontradas são de domínio fitogeográfico da Caatinga. Seguindo a metodologia adotada por Izídio et al (2013), dividiu-se as árvores em 6 classes de acordo com a circunferência apresentada: Classe 1 – 0,0 a 11 cm (36 árvores); Classe 2 – 11,1 a 20 cm (14 árvores); Classe 3 - 20,1 a 26 cm (3 árvores); Classe 4 - 26,1 a 31 cm (3 árvores); Classe 5 – 31,1 a 50 cm (6 árvores) e Classe 6 – 50,1 a 91,3 cm (5 árvores).

Para cada classe de circunferência, foi selecionado uma espécie no qual foi acoplado ao tronco um anel coletor, fixado com o auxílio de massa epóxi, que era ligado a um recipiente fechado (evitando evaporação) com capacidade de armazenamento de 18 litros, por uma mangueira plástica $\frac{3}{4}$ de polegadas (Figura 6)



Figura 6 – Coletor para o escoamento pelo tronco

Na determinação do escoamento pelos caules de todas as árvores para cada evento chuvoso, considerou-se que o escoamento determinado para a árvore amostrada foi igual para todas as árvores da mesma classe e calculou-se a soma dos produtos do escoamento da árvore representativa pela quantidade de árvores da classe (Equação 1).

$$Esc = \sum_{i=1}^n Ei \cdot qi \quad (01)$$

Onde: Esc - escoamento pelos caules calculado para cada evento de chuva diário, mm; n - número de classes de circunferência; Ei - escoamento pelo caule da árvore representativa da classe i; qi - quantidade de árvores da classe i.

As perdas por interceptação foram estimadas indiretamente pela diferença entre a precipitação total e a quantidade de água que atinge o solo, conforme metodologia proposta por Carlyle-Moses, Lishman e Mckee (2014), calculado na (Equação 2).

$$I = P - (P_i + Esc) \quad (02)$$

Onde: I - Perda por interceptação, mm; P - Precipitação total, mm; P_i - precipitação interna medida sob a vegetação, mm; Esc - escoamento pelos caules das árvores, mm.

Para análise estatística dos dados utilizou-se o software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versão 16.0. Para a identificação da similaridade e dos agentes determinantes da variabilidade do particionamento da precipitação, utilizou-se o modelo de estatística multivariada: com uma análise de agrupamento hierárquico seguido de uma Análise Fatorial (AF)/ACP. Além da aplicação do teste de médias de Tukey ao nível de 1%.

Para a análise de agrupamento hierárquico, utilizou-se a padronização z-scores. Para padronização das variáveis, adotou-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana Quadrada, e o algoritmo do método de ligação *Ward*. Utilizando-se as variáveis: PPT, Eto, V, I, T, EC, I5, I10, I15, I20, I30, I45 e I60.

Para a AF/ACP, as variáveis consideradas foram: PPT (mm); Int (mm), I5 (I5 – mm h⁻¹); I10 (I10 – mm h⁻¹), I15 (I15 – mm h⁻¹), I20 (I20 – mm h⁻¹), I30 (I30 – mm h⁻¹), I45 (I45 – mm h⁻¹) I60 (I60 – mm h⁻¹); EC (EC – MJ mm h⁻¹); Eto (mm dia⁻¹), V (m s⁻¹) e T (min).

Os dados originais, na forma de matriz foram expressos por $X = (x_{i,j})$, em que $i = 1 \dots n$ amostragens e $j = 1 \dots p$ variáveis. Na aplicação da técnica da AF/ACP, a primeira etapa é transformar a matriz de dados originais em uma matriz de correlação [R] ($p \times p$), para p igual as 15 variáveis analisados nesse estudo. A principal razão para se usar a matriz de correlação é se eliminar o problema de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis são medidas. A eficiência da nova descrição dos dados por meio das componentes vai depender da percentagem de variação total que cada componente contém, a qual é representada pelos autovalores (Moita Neto, 1997).

Após a definição da matriz de correlação, realizou-se uma inspeção entre as variáveis com o objetivo de identificar as mais específicas, visto que a finalidade da ACP é obter componentes que ajudem a explicar essas correlações. A consistência geral dos dados foi aferida pelo método Kayser Mayer Olkim (KMO), que compara a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes de correlação parcial, produzindo um índice KMO (Andrade et al., 2007). Valores de KMO < 0,5 indicam que o modelo não se aplica aos dados em estudo (Norusis, 1990). A seleção do número de componentes extraído seguiu os preceitos apresentados por Norusis (1990), em que se consideram somente componentes com variância superior a um. Este critério fundamenta-se no fato de que qualquer fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável.

Mesmo com a matriz dos componentes obtidos na fase de extração, na qual o resultado descreve a relação entre os fatores e as variáveis individuais, o resultado pode ser de difícil interpretação. Para suplantar a limitação, utilizou-se o procedimento de transformação ortogonal, ou simplesmente rotação da matriz das cargas fatoriais, gerando uma nova matriz de cargas fatoriais, que apresenta um melhor significado interpretativo aos fatores. Neste estudo,

empregou-se a rotação ortogonal, método Varimax, amplamente empregada na avaliação da variabilidade espacial e temporal da qualidade de água (Andrade et al., 2007).

Resultados e Discussão

Para o período estudado (janeiro a dezembro de 2017) a precipitação pluviométrica totalizou 466,68 mm, referente a 20 eventos pluviométricos, ficando abaixo da média histórica da região (973,8 mm). Essas precipitações abaixo da média são reflexos da seca pluriannual iniciada em 2012, e que chegou a seis anos de duração em 2017, que de acordo com Martins e Magalhães (2015), é o período mais crítico em termos de totais de chuva desde 1911. Observou-se que, a Precipitação interna (Pi), Escoamento pelo tronco (Esc) e as perdas por interceptação (I), representaram 59,23, 2,41 e 38,36% respectivamente do total precipitado. Na Tabela 10 observa-se que a interceptação variou de 9,92% (11/02/2017) a 92,58% (10/02/2017 e 11/03/2017). Valores esses são superiores ao encontrados em outros estudos em regiões semiáridas em que a interceptação média variou de 13,0% (Medeiros et al., 2009) a 41,8 % (Silva, 2017). Contudo, a área de estudo é localizada em Brejos de altitude próximo a cursos d'águas perenes além da presença de espécies florísticas características de Mata Atlântica (Dantas, 2016; Medeiros et al., 2016) e características de mata ciliar aumentando a interceptação vegetal. Comportamento semelhante foi observado por Lima & Leopoldo (2000) estudando área de mata ciliar no cerrado brasileiro onde foram interceptados 37,6 % das precipitações pela vegetação.

Tabela 10 – Eventos pluviométricos (P total), Precipitação interna (Pi), Escoamento pelo tronco (Esc) e perdas por interceptação (I) para a área de estudo

Datas	P total		Pi		Esc		I	
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	
10/02/2017	4,58	0,33	7,21	0,01	0,22	4,24	92,58	
11/02/2017	37,10	32,43	87,41	0,99	2,67	3,68	9,92	
12/02/2017	9,89	4,70	47,52	0,19	1,92	5,00	50,56	
05/03/2017	24,73	19,56	79,09	0,64	2,59	4,53	18,32	
10/03/2017	15,46	11,05	71,47	0,37	2,39	4,04	26,13	
11/03/2017	4,58	0,33	7,21	0,01	0,22	4,24	92,58	
13/03/2017	43,90	25,12	57,22	0,82	1,87	17,96	40,91	
01/04/2017	23,49	16,50	70,24	0,45	1,92	6,54	27,84	
11/04/2017	12,37	5,91	47,78	0,28	2,26	6,18	49,96	
12/04/2017	6,18	1,75	28,32	0,12	1,94	4,31	69,74	
24/04/2017	31,53	20,68	65,59	0,79	2,51	10,06	31,91	
04/05/2017	25,97	9,52	36,66	0,40	1,54	16,05	61,80	

11/05/2017	23,49	13,92	59,26	0,51	2,17	9,06	38,57
12/05/2017	19,17	13,97	72,87	0,59	3,08	4,61	24,05
29/05/2017	66,77	39,32	58,89	1,22	1,83	26,23	39,28
01/06/2017	36,48	23,62	64,75	1,50	4,11	11,36	31,14
03/06/2017	28,44	15,91	55,94	0,91	3,20	11,62	40,86
12/06/2017	9,89	7,12	71,99	0,27	2,74	2,50	25,27
22/06/2017	21,02	1,50	7,11	0,10	0,47	19,43	92,42
02/07/2017	21,64	13,20	61,02	1,06	4,88	7,38	34,10
Total	466,68	276,44	52,87	11,22	2,23	179,02	44,90

Buscando-se um melhor entendimento dos eventos pluviométricos ante as perdas por interceptação, realizou-se a Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH). Observa-se que o ponto ótimo de corte para formação os grupos de similaridade se encontram em 7 da distância euclidiana, pois, a partir deste, ocorre o distanciamento maior na medida de similaridade dos eventos pluviométricos, expressando a formação de três grupos (Figura 7). A formação de grupos distintos expressa a alta variabilidade temporal dos eventos, o que é característico da região semiárida (Ribeiro Filho et al., 2016).

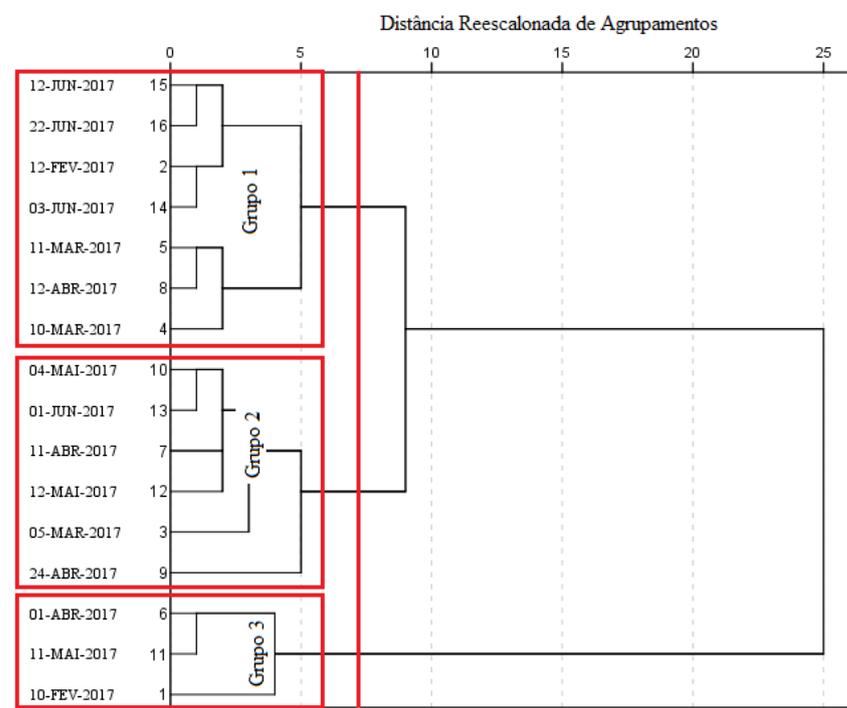


Figura 7- Agrupamento hierárquico pelo método de Ward para eventos pluviométricos do ano de 2017, para a área de estudo.

Investigando-se as características da chuva (Tabela 11), observou-se que as Intensidades máximas (I5, I10, I15, I20, I30, I45 e I60 mm h⁻¹) foram as variáveis que apresentaram maiores distinções entre as estudadas, diferindo estatisticamente ao nível de 1% de significância, para todos os grupos formados, enquanto nas demais variáveis não diferiram. Tal fato evidencia a necessidade de um detalhamento dessas variáveis para compreender melhor o comportamento dos eventos e da interceptação vegetal, uma vez constatado que o percentual das perdas por interceptação decresce com a intensidade da chuva (Giglio & Kobiyama, 2013). Nota-se que para as demais variáveis os valores de máximo e mínimo são relativamente próximos, e que a média sempre se apresentou perto dos valores de mediana, apresentando uma boa distribuição.

Tabela 11 - Número de eventos, média, máximo e mínimo, mediana e desvio padrão das variáveis em cada grupo dos eventos em estudo.

Monitorado	Variáveis	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Precipitação (mm)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	13,64a	25,04a	17,19a
	Max e Min	28,44 e 4,58	36,48 e 12,37	23,49 e 4,58
	Mediana e Desvio	9,89 e 8,59	25,35 e 8,59	17,19 e 10,92
Eto (mm dia ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	3,77a	4,31a	5,07a
	Max e Min	5,17 e 2,10	5,21 e 2,64	6,10 e 3,97
	Mediana e Desvio	4,06 e 1,24	4,88 e 1,12	5,07 e 1,07
Velocidade do Vento (m/s)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	0,14a	0,07a	0,17a
	Max e Min	0,40 e 0,02	0,12 e 0,01	0,28 e 0,07
	Mediana e Desvio	0,13 e 0,13	0,09 e 0,05	0,17 e 0,11
Int (mm h ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	2,20a	4,84a	2,84a
	Max e Min	3,43 e 0,86	8,36 e 0,83	3,72 e 2,13
	Mediana e Desvio	3,00 e 1,15	4,88 e 2,68	2,84 e 0,81
Duração da chuva (min)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	180,86a	297,00a	672,00a
	Max e Min	702,00 e 6,00	906,00 e 72,00	116,00 e 402,00
	Mediana e Desvio	162,00 e 242,40	183,00 e 315,69	672,00 e 387,50
EC (mm h ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	0,14a	0,17a	0,16a
	Max e Min	0,17 e 0,11	0,20 e 0,11	0,17 e 0,15
	Mediana e Desvio	0,16 e 0,14	0,18 e 0,03	0,16 e 0,01
I5	Nº de eventos	7	6	3

(mm h ⁻¹)	Média	15,43b	37,20b	184,80a
	Max e Min	43,20 e 3,60	64,80 e 14,40	234,00 e 108,00
	Mediana e Desvio	7,20 e 16,06	36,00 e 17,59	184,80 e 67,38
I10 (mm h ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	10,54c	31,80b	106,80a
	Max e Min	28,80 e 1,80	59,40 e 14,40	117,00 e 97,20
	Mediana e Desvio	3,6 e 11,40	30,60 e 15,39	106,80 e 9,91
I15 (mm h ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	7,71c	27,60b	78,40a
	Max e Min	19,20 e 1,20	52,80 e 13,20	86,40 e 70,80
	Mediana e Desvio	2,40 e 8,40	26,40 e 13,99	78,40 e 7,81
I20 (mm h ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	6,04c	23,40b	61,80a
	Max e Min	14,0 e 0,90	45,90 e 11,70	73,80 e 53,10
	Mediana e Desvio	2,40 e 8,40	20,7 e 12,57	61,80 e 10,74
I30 (mm h ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	4,11c	18,40b	41,80a
	Max e Min	9,60 e 0,60	33,00 e 8,40	51,00 e 35,40
	Mediana e Desvio	1,20 e 4,32	16,20 e 9,01	41,80 e 8,17
I45 (mm h ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	2,85c	12,97b	28,60a
	Max e Min	6,38 e 0,40	21,95 e 6,38	36,31 e 23,54
	Mediana e Desvio	1,60 e 2,80	12,37 e 5,81	28,60 e 6,79
I60 (mm h ⁻¹)	Nº de eventos	7	6	3
	Média	2,19c	9,95b	21,80a
	Max e Min	4,80 e 0,30	16,50 e 4,80	28,20 e 17,70
	Mediana e Desvio	1,20 e 2,06	9,45 e 4,26	21,80 e 5,62

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na linha, não diferem ao nível de 1% de significância de acordo com teste de Tukey.

Ainda na Tabela 11, é possível observar a duração dos eventos de precipitação foi a variável que apresentou os maiores desvios padrões, para os três grupos em estudo o que influencia diretamente as demais variáveis (PPT, Eto, I e EC), uma vez que o intervalo sem chuva pode aumentar o tempo necessário para que o dossel da vegetação se torne completamente molhado, reestruturando assim a capacidade de armazenamento do dossel e aumentando as perdas por interceptação (Dunkerley, 2008a; Carlyle-Moses et al., 2014).

O comportamento do particionamento da precipitação pelo processo de interceptação vegetal em cada grupo é observado na Figura 8. Verifica-se na Figura 4a, que as maiores interceptações (%) ocorreram para os grupos 1 e 3. Esses eventos foram os que registraram as menores

intensidades, conseqüente não romperam as abstrações iniciais da vegetação e evaporaram. Estudando o processo de modelagem para a interceptação vegetal em região semiárida do Irã, Sadeghi et al. (2015), observaram que em diferentes grupos de chuvas, as maiores interceptações ocorriam para as menores alturas pluviométricas, com curta duração.

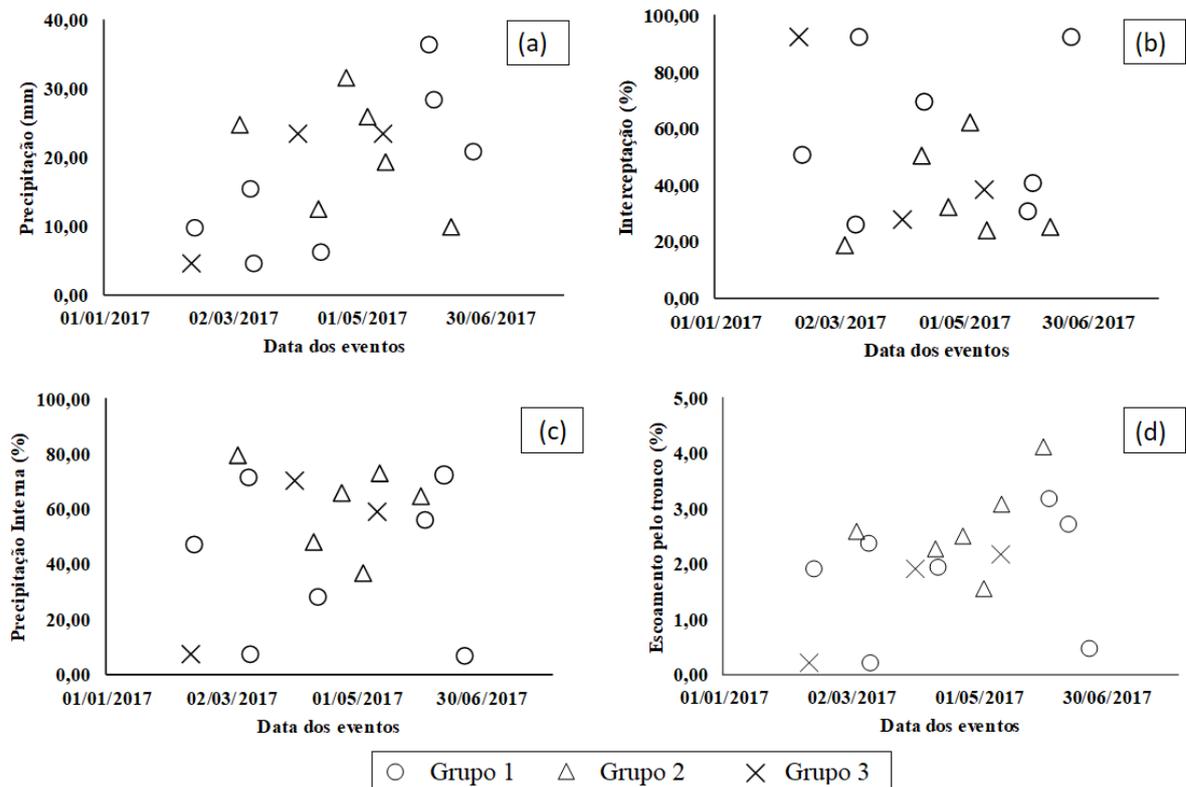


Figura 8 - Comportamento da precipitação (a), Interceptação (b), Precipitação interna (c) e escoamento pelo tronco (d) para cada grupo hierárquico para à área em estudo.

Analisando-se a precipitação interna (Figura 8b), nota-se que nenhum dos grupos apresentou comportamento uniforme, em função do dossel florestal redistribuir a chuva de forma variada (Linhoss & Siegert, 2015). Já o escoamento pelo tronco (Figura 8c) apresentou baixa participação em todos os eventos, tipicamente valores inferiores a 5%. Contudo observou-se que o grupo 2 (onde registrou-se maiores alturas pluviométricas), ocorreram os maiores Esc, uma vez que o dossel já estava saturado e a água que chegava na superfície das folhas buscou caminhos preferencias (galhos) para escoar. Comportamento semelhante foi observado por Lorenzo et al. (2013), que em diferentes estágios de florestas, os maiores Esc foram observados para as classes com maiores alturas precipitadas.

A aplicação da ACP ao conjunto de variáveis investigadas, mostraram-se adequada pelo teste KMO, com valor de 0,501, indicando que o modelo fatorial (ACP) pode ser aplicado aos dados sem restrições. As variáveis analisadas foram: precipitação (PPT), Interceptação (Int), Evapotranspiração (Eto); Velocidade do vento; Intensidade (Int), Duração dos eventos, Energia Cinética (EC), Intensidade máximas em 5, 10, 15, 20, 30, 45 e 60 minutos (I5, I10, I15, I20, I30, I45 e I60 mm h⁻¹, respectivamente). Na matriz de correlação (Tabela 12) observa-se que a Interceptação vegetal (Int) apresentou boa correlação com a Precipitação total (PPT), com valor de 0,60, uma vez que a capacidade de armazenamento da vegetação é dependente do total precipitado. Resultados semelhantes foram obtidos por Thomaz & Antoneli (2015) e Rodrigues et al. (2016).

Tabela 12 - Matriz de correlação das variáveis relacionadas ao processo de particionamento da chuva pela interceptação para à área em estudo.

	PPT	I	ETo	Vento	Int	Tempo	EC	I5	I10	I15	I20	I30	I45	I60
PPT	1,00													
I	0,60	1,00												
ETo	0,34	0,42	1,00											
Vento	-0,45	-0,44	-0,25	1,00										
Int	0,05	-0,18	-0,06	-0,19	1,00									
Tempo	-0,01	-0,22	0,26	0,67	-0,23	1,00								
EC	-0,02	-0,12	-0,05	-0,07	0,93*	-0,19	1,00							
I5	0,13	-0,11	0,18	0,16	0,06	0,40	0,17	1,00						
I10	0,08	-0,18	0,21	0,26	0,13	0,58	0,22	0,95*	1,00					
I15	0,06	-0,21	0,24	0,31	0,18	0,67	0,25	0,87*	0,98*	1,00				
I20	0,04	-0,22	0,25	0,32	0,18	0,71	0,24	0,82*	0,96*	0,99*	1,00			
I30	0,08	-0,20	0,28	0,30	0,20	0,72	0,24	0,79*	0,93*	0,98*	0,99*	1,00		
I45	0,06	-0,20	0,30	0,30	0,22	0,72	0,24	0,76*	0,92*	0,97*	0,99*	1,00*	1,00	
I60	0,07	-0,20	0,31	0,30	0,22	0,73	0,25	0,75*	0,91*	0,97*	0,99*	1,00*	1,00*	1,00

PPT – Precipitação (mm); I – Interceptação (mm); ETo – Evapotranspiração (mm dia⁻¹); Vento (m s⁻¹); I – Intensidade (mm h⁻¹); Tempo (min); EC – Energia Cinética (MJ mm h⁻¹); I5 – Intensidade máxima em 5 min (mm h⁻¹); I10 – Intensidade máxima em 10 min (mm h⁻¹); I15 – Intensidade máxima em 15 min (mm h⁻¹); I20 – Intensidade máxima em 20 min (mm h⁻¹); I30 – Intensidade máxima em 30 min (mm h⁻¹); I45 – Intensidade máxima em 45 min (mm h⁻¹); I60 – Intensidade máxima em 60 min (mm h⁻¹);

As intensidades máximas (I5, I10, I15, I20, I30, I45 e I60 mm h⁻¹), também apresentaram altas correlações entre si e com a duração do evento. Embora seja uma derivação da altura

precipitada pelo tempo, nota-se que a alta variabilidade da duração dos eventos fez com que não tivesse relação entre as intensidades com a altura precipitada. Contudo, estudos realizados por Zang et al. (2015), evidenciaram que as quantidades individuais do particionamento da chuva (escoamento pelo tronco, precipitação interna e interceptação), são aumentadas com o aumento de intensidade. Estudando a interceptação por arbustos em região árida, Zang et al. (2016), observaram que I60 e Altura de chuva, tiveram impacto significativo nos resultados obtidos para a interceptação vegetal.

A aplicação da ACP resultou em três componentes explicando 84,66% da variância total dos dados (Tabela 13). Essas componentes (CP1, CP2 e CP3) expressam a relação entre fatores/variáveis e permitem a identificação das variáveis com maiores inter-relações em cada componente. Os valores elevados dos pesos fatoriais sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada fator (Andrade et al., 2007).

Tabela 13 - Matriz do peso fatorial das variáveis nas componentes principais, após a rotação pelo algoritmo Varimax.

Variáveis	Componentes		
	1	2	3
I20	<u>0,99</u>	0,02	0,00
I15	<u>0,99</u>	0,04	0,01
I30	<u>0,99</u>	0,05	-0,01
I45	<u>0,99</u>	0,05	0,00
I60	<u>0,98</u>	0,06	0,00
I10	<u>0,96</u>	0,07	-0,01
I5	<u>0,84</u>	0,12	-0,03
Tempo	<u>0,73</u>	-0,32	-0,40
PPT	0,04	<u>0,77</u>	-0,28
Vento	0,37	<u>-0,76</u>	-0,08
Int	-0,24	<u>0,71</u>	-0,42
Eto	0,27	<u>0,55</u>	-0,40
I	0,18	0,33	<u>0,89</u>
EC	0,24	0,30	<u>0,87</u>
AutoValor	7,36	2,31	2,18
Variância explicada (%)	52,60	16,49	15,57
Variância acumulada (%)	52,60	69,09	84,66

PPT – Precipitação (mm); Int – Interceptação (mm); Eto – Evapotranspiração (mm dia⁻¹); Vento (m s⁻¹); I – Intensidade (mm h⁻¹); Tempo (min); EC – Energia Cinética (MJ mm h⁻¹); I5 – Intensidade máxima em 5 min (mm h⁻¹); I10 – Intensidade máxima em 10 min (mm h⁻¹); I15 – Intensidade máxima em 15 min (mm h⁻¹); I20 –

Intensidade máxima em 20 min (mm h^{-1}); I30 – Intensidade máxima em 30 min (mm h^{-1}); I45 – Intensidade máxima em 45 min (mm h^{-1}); I60 – Intensidade máxima em 60 min (mm h^{-1}).

Nas componentes apresentadas, a primeira CP (Tabela 12), com pesos fatoriais atingindo 0,99, está representada pelas variáveis de intensidades máximas (I5, I10, I15, I20, I30 e I45) e a duração dos eventos. Essas variáveis presentes na CP1 são representativas do poder energético da chuva em ultrapassar a barreira física imposta pela vegetação, explicando mais de 52,60% da variância total. Estudando outros processos hidrológicos para região semiárida, Figueiredo et al. (2016), evidenciaram a importância da intensidade, principalmente I20 e I60 na explicabilidade dos processos hidrológicos.

As variáveis PPT, Int e Eto, estão diretamente interligadas, formando a CP2 com explicabilidade de 16,49%. Como evidenciado na Tabela 3, a boa correlação entre PPT e Int, mostram a relação entre o balanço hídrico de entrada (PPT) e suas saídas (Int + Eto). O agrupamento dessas variáveis na CP2, está ligado diretamente a quebra da continuidade dos eventos, característico de regiões semiáridas, uma vez que as chuvas em regiões semiáridas, não se apresentam de formas contínuas (Dunkerley, 2008a), e tendo durações muito variáveis. Para a CP3, nota-se que ela é formada apenas pela Intensidade e Energia Cinética, sendo responsável por 15,57% da explicabilidade total dos eventos. Embora essas variáveis estejam ligadas a energia dos eventos como na CP1, elas têm como base a duração total do evento, diminuindo sua explicabilidade, uma vez que é provável a água da chuva armazenada pelo dossel evaporar e saturar novamente, durante o mesmo evento. (Dunkerley, 2008b; Zang et al., 2016).

Conclusões

1. A vegetação retém 44,9 % da precipitação do total, enquanto 52,87% contribui com a precipitação interna e 2,22% escoam pelos troncos;
2. A redistribuição da precipitação apresentou comportamento distinto para os grupos formados pela Análise de Agrupamento Hierárquico;

3. Levando em consideração todas as variáveis estudadas, as intensidades máximas da chuva apresentaram os maiores pesos fatoriais indicando que é necessária maior atenção em estudos hidrológicos para esta variável na região semiárida brasileira.

4. Nas Componentes 1, 2 e 3 foram enquadradas, respectivamente, variáveis relacionadas ao poder energético da chuva em ultrapassar a barreira física da vegetação, fluxo de entrada e saída e variáveis que mudam de acordo com o tempo de duração da chuva.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro e bolsas concedida aos autores

Literatura Citada

Andrade, E. M.; Araújo, F. L. F. P.; Freitas, R. M.; Gomes, R. B.; Lobato, F. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1791-1797, 2007.

Carlyle-Moses, D. E.; Lishman, C. E.; Mckee, A. J. A preliminary evaluation of throughfall sampling techniques in a mature coniferous forest. **Journal of forestry research**, v. 25, n. 2, p. 407-413, 2014.

Dantas, N. B. L. **Estudo fitossociológico em encaves florestais na região serrana dos municípios de Portalegre e Martins-RN** – Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, 90 f.: il. 2016.

Dunkerley, D. Intra-storm evaporation as a component of canopy interception loss in dryland shrubs: observations from Fowlers Gap, Australia. **Hydrological Processes**. v. 22, p. 1985–1995, (2008a)

Dunkerley, D. Identifying individual rain events from pluviograph records: a review with analysis of data from an Australian dryland site. **Hydrological Processes**. v. 22, p. 5024–5036, (2008b)

Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN. **Monitoramento pluviométrico**, 2017. Disponível em <http://187.61.173.26/monitoramento/monitoramento.php>. Acesso em: 19 set. 2017.

Figueiredo, J. V.; Araújo, J. C.; Medeiros, P. H. A.; Costa, A. C. Runoff initiation in a preserved semiarid Caatinga small watershed, Northeastern Brazil. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 13, p. 2390-2400, 2016

Giglio, J. N.; Kobiyama, M. Interceptação da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 297-317, 2013.

Hargreaves, G. H.; Samani, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 01, n. 02, p. 96-99, 1985.

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA. **Perfil do seu município: Portalegre**. 2008. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/arquivos/Perfil%202008/Portalegre.pdf> Acesso em: 19 set. 2017.

Izídio, N. S. C. ; Palacio, H. A. Q. ; Adrade, E. M. ; Araujo Neto, J.R. ; Batista, A. A. Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Agro@mbiente On-line**, v. 7, p. 44-52-52, 2013.

Lima, P. R. A.; Leopoldo, P. R. Quantificação de componentes hidrológicos de uma mata ciliar, através do modelo de balanço de massas. **Revista Árvore**, v.24, n.3, p.241—252, 2000.

- Linhoss, A. C.; Siegert, C. M. A comparison of five forest interception models using global sensitivity and uncertainty analysis. **Journal of Hydrology**, v. 538, p. 109-116, 2016.
- Lorenzon, A. S.; Dias, H. C. T.; Garcia L. H. Precipitação efetiva e interceptação da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, 2013.
- Lloyd, C. R.; Marques, A. O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 42, n. 1, p. 63-73, 1988.
- Martins, E. S. P. R.; Magalhães, A. R. **A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos**. In: Cardoso, M. Parcerias Estratégicas. Brasília-DF, seção 1, p. 107-128, 2015.
- Medeiros, P. H. A.; Araújo, J. C.; Bronstert, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semiarid region. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.40, n.2, p.165–174, 2009.
- Medeiros, S. R. D.; Carvalho, R. G. D.; Barbosa, A. H. D. S. Índice de qualidade das águas e balneabilidade do Riacho da Bica, Portalegre, RN, Brasil. **Revista Ambiente & Água**. v. 11, n. 3, p.713-730, 2016.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO (MI) – MI – MINISTÉRIOD A INTEGRAÇÃO NACIONAL. Ano: 2005. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/>>. Acessado em: 01/02/2013.
- Moita Neto, J.M. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.24, n.4, p.467-469, 1997.
- Norusis, M. J. **SPSS Base System user's guide**. Chicago: SPSS, 1990. 520p.
- Ribeiro Filho, J. C.; Palácio, H. A. D. Q.; Andrade, E.; Santos, J. C. N. D.; Brasil, J. B. Rainfall characterization and sedimentological responses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region of Brazil. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 468-478, 2017.

Rodrigues, V. A.; Lucas-Borja, M. E.; Tarjuelo, J. M.; Canales, A. R.; Sánchez-Román, R. M. Intercepção da precipitação pelas copas em *Pinus halepensis mill*- Albacete-Espanha. **IRRIGA**, v. 21, n. 4, p. 736-749, 2016.

Sadeghi, S. M. M.; Attarod, P.; Van Stan, J. T.; Pypker, T. G.; Dunkerley, D. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 201, p. 76-85, 2015.

Silva, D. C. **Intercepção da chuva e escoamento superficial de água no solo no semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Serra Takhada, 2017, 59f.: il.

Thomaz, E. L.; Antoneli, V. Rain interception in a secondary fragment of araucaria forest with Faxinal, Guarapuava-PR. **Revista Cerne**, v. 21, n. 3, p. 363-369, 2015.

Zhang, Y. F.; Wang, X. P.; Hu, R.; Pan, Y. X.; Paradeloc, M. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. **Journal of hydrology**, v. 527, p. 1084-1095, 2015.

Zhang, Z. S.; Zhao, Y.; Li, X. R.; Huang, L.; Tan, H. J. Gross rainfall amount and maximum rainfall intensity in 60-minute influence on interception loss of shrubs: a 10-year observation in the Tengger. **Desert. Scientific reports**, v. 6, 2016.

CAPITULO 3

Medições e avaliação de diferentes modelos de interceptação vegetal para uma região semiárida tropical²

Resumo

A dinâmica do processo de interceptação da chuva pelo dossel florestal depende principalmente das características das chuvas e da estrutura vegetal representando um processo em constante mudança devido aos fatores mutuamente interativos. O presente trabalho objetivou mensurar e avaliar o desempenho dos modelos propostos por Rutter e de Gash para avaliar a interceptação vegetal. A área de estudo está inserida em uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) situada dentro da Microbacia da Bica no município de Portalegre-RN. O estudo ocorreu durante o período de janeiro a dezembro de 2017, sendo monitorado para cada evento individual de chuva a precipitação total, o escoamento pelos troncos e a precipitação interna. Os modelos de interceptação de Rutter e Gash foram aplicados na região com resultados considerados satisfatórios. Entre os dois modelos, a melhor simulação foi observada com o emprego do modelo de Rutter, com o qual foi obtido o menor valor de erro relativo para a interceptação acumulada ao final do período monitorado com valor de 10%. Já para o modelo de Gash obteve-se um erro relativo da interceptação acumulada de 12%.

Palavras-chave: Particionamento da precipitação. Modelagem. Bacia hidrográfica

² Formato e Estilo: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

CHAPTER 3

Measurements and evaluation of different models of plant interception for a semi-arid tropical region

Abstract

The dynamics of the process of rain interception by the forest canopy depends mainly on the characteristics of the rains and the plant structure representing a constantly changing process due to the mutually interactive factors. The present work aimed to measure and evaluate the performance of the models proposed by Rutter and Gash to evaluate the plant interception. The area of study is inserted in an area of relevant ecological interest (ARIE) located within the microbasin of the spout in the municipality of Portalegre-RN. The study took place during the period from January to December of 2017, being monitored for each individual rain event the total precipitation, the drainage by the trunks and the internal precipitation. The Rutter and Gash interception models were applied in the region with results considered satisfactory. Between the two models, the best simulation was observed with the use of the Rutter model, with which the smallest relative error value was obtained for the cumulative interception at the end of the monitored period with a value of 10%. For the Gash model, a relative error of the accumulated 12% interception was obtained.

Keywords: Precipitation partitioning. Modeling. Watershed

Introdução

A interceptação da chuva pelo dossel florestal é um fenômeno temporariamente variável e dinâmico, representando um processo em constante mudança devido aos fatores mutuamente interativos (IIDA et al., 2017). Perda por interceptação refere-se à fração da chuva que fica retida na vegetação e não atinge o solo, evaporando com a copa ainda úmida (RUTTER, 1975; GASH, 1979). Este processo deriva comumente em três estágios: (i) Precipitação acima do dossel; (ii) Precipitação que passa livremente pela vegetação ou através de respingos de folhas e galhos e atinge o solo; (iii) Precipitação desviada pelos troncos e que chega ao solo através deles (GIGLIO & KOBIYAMA, 2013; FERNANDES et al., 2017).

A perda por interceptação depende fortemente da duração da chuva, intensidade da precipitação, estrutura da vegetação e das condições meteorológicas que controlam a evaporação durante e após cada evento de precipitação (RUTTER, 1975; MUZYLO et al., 2009). Os principais componentes de entrada no processo de interceptação foram medidos e modelados em diferentes tipos de vegetação, com especial ênfase nos estudos florestais (GASH, 1979; MEDEIROS et al., 2009; ILDA et al., 2017).

Devido a importância da interceptação vegetal para o balanço hídrico, vários modelos matemáticos foram desenvolvidos para a previsão da quantidade de água interceptada pela vegetação (NAVAR, 2017). Atualmente, existem disponíveis na literatura mais de 15 modelos para estimativa da interceptação vegetal florestal (MUZYLO et al., 2009). Dentre os modelos com base física, destaca-se o pioneiro proposto por Rutter *et al.* (1971) e o modelo de Gash (1979) que trata de uma simplificação do modelo de Rutter et al. (1971). Os modelos para estimativa da interceptação vegetal são fundamentados para estimar a precipitação interna, escoamento pelos troncos e perdas por interceptação, com base no balanço da água nas folhas e troncos envolvendo precipitação, evaporação e drenagem pelos troncos.

O processo de interceptação em áreas de brejo de altitude ainda é pouco estudado, sobretudo usando modelagem. Diante de tal situação, o presente trabalho objetivou mensurar e o desempenho dos modelos propostos por Rutter et al. (1971) e de Gash (1979).

Material e métodos

Área experimental

O experimento foi desenvolvido na Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) situada dentro da Microbacia da Bica no município de Portalegre, situado na região serrana do oeste do estado do Rio Grande do Norte, Brasil, entre as coordenadas geográficas 6°01'33,04" S e 37°59'27,93" W (Figura 9). A microbacia da Bica possui em suas limitações um desenho paisagístico formado por nascentes perenes, cachoeira perene e tendo despertado grande interesse para sua conservação.

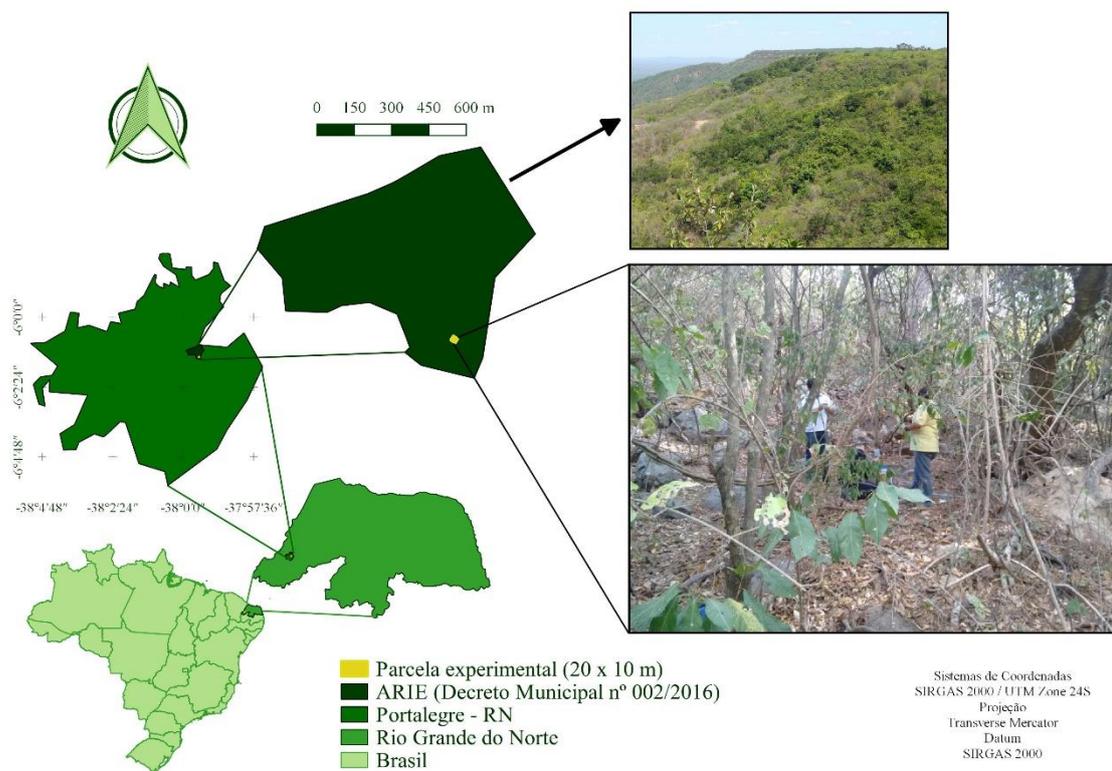


Figura 9 – Localização da área de estudo

A microbacia em estudo, de acordo com a classificação de Köppen possui clima tropical chuvoso (Aw), levando-se em consideração o índice pluviométrico, o índice de aridez o risco a seca a área geográfica esta na abrangência do clima semiárido brasileiro. (MI, 2005). A precipitação média histórica (1961-2016) no município de Portalegre é de 973,8 mm, (EMPARN, 2017) com temperaturas máximas e mínimas variando entre 36,0 a 21,0 °C, respectivamente, tendo uma temperatura média de 28,1°C, com uma umidade relativa anual média de 66% e com mais de 2.700 horas de insolação anual (IDEMA, 2008). A vegetação da área é composta predominantemente caatinga, contudo, apresenta espécies florísticas características da Mata Atlântica (IDEMA, 2008; MEDEIROS et al., 2016).

O estudo se deu durante o período de janeiro a dezembro do ano de 2017. As variáveis climáticas foram monitoradas através de uma estação meteorológica, modelo WH-1080 PC da marca INSTRUTEMP®, que com o auxílio do *software* Easy Weather, foram realizadas medições de Precipitação, Temperatura, Umidade do ar, velocidade e direção do vento, no intervalo a cada cinco minutos. Para a estimativa da Eto, utilizou-se a metodologia proposta por Hargreaves e Samani (1985).

As perdas por interceptação foram estimadas indiretamente pela diferença entre a precipitação total e a quantidade de água que atinge o solo, conforme metodologia proposta por Carlyle-Moses, Lishman e Mckee (2014), calculado na (Equação 3).

$$I = P - (P_i + Esc) \quad (03)$$

Onde:

I - Perda por interceptação, mm;

P - Precipitação total, mm;

P_i - precipitação interna medida sob a vegetação, mm;

Esc - escoamento pelos caules das árvores, mm.

Modelo de Rutter

O modelo de Rutter (RUTTER et al., 1971; 1975) trata a árvore como um tanque de armazenamento de água, que possui como entrada a precipitação e como saídas a evaporação, a drenagem de copa e o escoamento pelos troncos. Os balanços hídricos para copa e tronco podem ser calculados através das Equações (4) e (5), respectivamente.

$$(1 - p - pt) \int P dt = \int D dt + \int E dt + \Delta C \quad (04)$$

$$pt \int P dt = Sf + \int E_t dt + \Delta C_t \quad (05)$$

Sendo, p o coeficiente de chuva interna livre; pt – coeficiente de água desviada para os troncos; P – precipitação total incidente acima do dossel; D - taxa de drenagem da copa; E – taxa de evaporação; C - armazenamento na copa; Sf – Escoamento pelo tronco; E_t – taxa de evaporação da água armazenada nos troncos e C_t a variação de quantidade de água armazenada nos troncos.

Para a utilização do modelo proposto por Rutter et al. (1971; 1975) são necessários parâmetros referentes a morfologia da vegetação. Os valores de b (5,25) e D_s (0,14) são os propostos por Lloyd et al. (1988). A partir dos eventos pluviométricos registrados ao longo do ano de 2017 gerou-se as equações de regressão linear; $PI = 0,657(P) - 1,5091$, que relaciona a precipitação total incidente acima do dossel (P) e a precipitação interna (PI) e ; $Sf = 0,0224(P) - 0,038$ eu relaciona a P e o escoamento pelos troncos (ESC), a partir dessas equações obteve-se os valores de C_t , p e pt .

Modelo de Gash

O modelo de Gash (1979), trata-se de uma simplificação do modelo de Rutter. O modelo representa a precipitação como entrada de uma série de eventos que são separados em intervalos suficiente para a secagem da copa. O modelo possui os parâmetros r (taxa média de precipitação que cai sobre a vegetação saturada) e E (média taxa de evaporação), representando o clima, e quatro parâmetros representando o dossel e características dos troncos, são eles: S = capacidade de armazenamento da vegetação; coeficiente p = interceptação livre; St = capacidade de armazenamento dos troncos e pt = proporção de precipitação atingindo os troncos. Dois parâmetros adicionais (a quantidade de precipitação necessária para encher o dossel ($P'G$) e a quantidade de precipitação necessária para encher o tronco ($P't$) são necessários, e podem ser determinados por meio das equações (6 e 7) que seguem:

$$P'G = -\left(\frac{R}{E}\right) * S * \ln\left\{1 - \left[\frac{E}{R*(1-p-pt)}\right]\right\} \quad (06)$$

$$P't = \frac{St}{pt} \quad (07)$$

Para a estimativa da capacidade de armazenamento da vegetação (S), deve-se usar uma curva ajustada aos pontos, onde o valor do S é dado pela a interceptção negativa da curva com os dados não interceptados. A proporção de precipitação desviados para os troncos (pt) e a capacidade de armazenamento tronco (St) devem ser estimadas usando a regressão entre escoamentos pelos troncos e precipitação total.

Erro dos modelos

Para o cálculo do erro, foi utilizado o coeficiente de Nash & Sutcliffe (NSE) (1970) (Equação 08) para o conjunto de dados medidos em campo e medidos pelo modelo de Rutter et al., (1971; 1975) e posteriormente pelo modelo de Gash (1979). Este coeficiente pode variar de -1 até 1, sendo 1 um ajuste perfeito. De acordo com Santos et al. (2014), o desempenho de um modelo

é considerado adequado e bom se o valor de NSE superar 0,75, e é considerado aceitável se o valor de NSE está no intervalo aberto 0,36-0,75.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (I^{obs} - I^{mod})^2}{\sum_{i=1}^n (I^{obs} - I^{méd})^2} \right] \quad (08)$$

Onde:

I^{obs} – Perda por interceptação medida;

I^{mod} – Perda por interceptação modelada;

$I^{méd}$ – Perda média dos eventos observados;

Por último foi aplicado o índice PBIAS (percentagem da diagonal) (Equação 09), utilizado para medir a tendência média dos dados simulados para ser maior ou menor do que os seus pares observados. O valor ideal de PBIAS é zero, com valores positivos indicando que os dados gerados pelo modelo subestimam a realidade enquanto os negativos a superestimam.

$$Pbias = \frac{\sum_{i=1}^n (I^{obs} - I^{mod})}{\sum_{i=1}^n (I^{obs})} \quad (09)$$

Onde:

I^{obs} – Perda por interceptação medida;

I^{mod} – Perda por interceptação modelada.

. Resultados e discussão

Interceptação observada

A precipitação total (P) para período em estudo foi de 466,7 mm, sendo que 179,0 mm (38,4%), ficaram retidos pela vegetação, enquanto 287,6 mm (61,6%) chegaram ao solo, como precipitação interna e escoamento pelo tronco. Quando comparado com outros estudos em regiões semiáridas, observa-se valores na ordem de 13,0 a 35,6 (%), como verificado por (MEDEIROS et al., 2009; **SILVA, 2017**), contudo, as características da área em estudo, faz

com que a mesma tenha características de floresta de serra (brejo de altitude). Em ambientes de mata ciliar de nascente, similar ao ambiente de estudo, os resultados de interceptação são mais elevados, como verificado por Lima & Leopoldo (2000) onde foram interceptados 37,6 % das precipitações pela vegetação (Tabela 14).

Tabela 14 – Eventos de chuva, total precipitado e total interceptado

Datas	P total		I
	(mm)	(mm)	(%)
10/02/2017	4,58	4,24	92,58
11/02/2017	37,10	3,68	9,92
12/02/2017	9,89	5,00	50,56
05/03/2017	24,73	4,53	18,32
10/03/2017	15,46	4,04	26,13
11/03/2017	4,58	4,24	92,58
13/03/2017	43,90	17,96	40,91
01/04/2017	23,49	6,54	27,84
11/04/2017	12,37	6,18	49,96
12/04/2017	6,18	4,31	69,74
24/04/2017	31,53	10,06	31,91
04/05/2017	25,97	16,05	61,80
11/05/2017	23,49	9,06	38,57
12/05/2017	19,17	4,61	24,05
29/05/2017	66,77	26,23	39,28
01/06/2017	36,48	11,36	31,14
03/06/2017	28,44	11,62	40,86
12/06/2017	9,89	2,50	25,27
22/06/2017	21,02	19,43	92,42

02/07/2017	21,64	7,38	34,10
Total	466,68	179,02	38,38

Analisando-se ainda a Tabela 1, observa-se que as maiores intercepções ocorreram para precipitações abaixo de 10 mm, interceptando sempre acima de 50%, com exceção do evento do dia 12/06/2017, que registrou intercepção de 25,27%. Porém, a intensidade registrada para esse evento foi maior que os demais dessa classe ($P < 10\text{mm}$), aumentando assim a precipitação interna. Estudos realizados por Moura et al. (2009) em área de Mata Atlântica observaram que precipitações abaixo de 10 mm, interpretavam 60% da precipitação. Já Calux & Thomaz (2012) registraram para essa classe de chuva intercepções acima de 40%. O evento do dia 11/02/2017 foi o que registrou a menor porcentagem de intercepção (9,92 %), contudo esse evento ocorreu logo em seguida a outro evento pluviométrico, diminuindo assim a capacidade de retenção da vegetação.

Modelagem da Intercepção

A capacidade de armazenamento de água pelo dossel vegetal (S) foi de 2,30 mm, obtido mediante análise de regressão linear $PI = 0,657 (P) - 1,5909$ com coeficiente de determinação igual a 0,8555. Para todos os eventos, registrou-se precipitação acima desse valor, tendo-se utilizado os 20 eventos ocorridos na área. Nota-se que o modelo apresentou alta correlação com os dados medidos (Figura 10) tendo subestimado o observado em 29,23 mm. Tal resultado encontrado por meio da simulação para os valores acumulados, não significa que o modelo de Rutter simulou a I tão bem para todos os eventos de chuva, visto que, houve uma subestimativa mais acentuada para eventos de altura pluviométrica inferiores a 10 mm. Estudos realizados em diferentes tipos florestais observaram bom desempenho para o modelo de Rutter utilizando valores acumulados, como verificado nas pesquisas de Oliveira et al. (2008) e Sá et al. (2015).

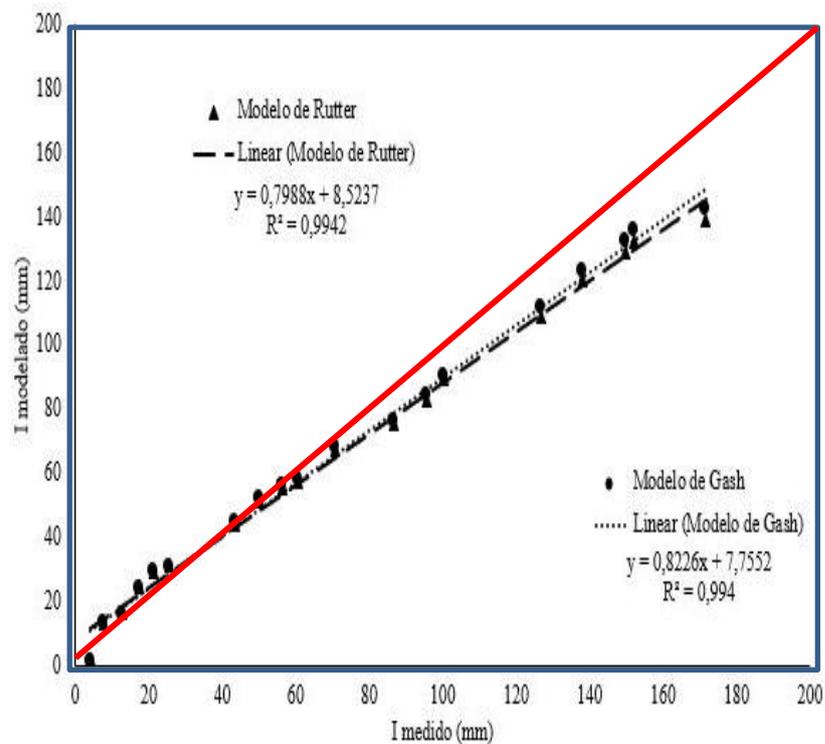


Figura 10 – Correlação entre valores acumulados de interceptação medido e estimados pelos modelos de Rutter e Gash.

Para o total acumulado durante os 20 eventos pluviométricos, o modelo de Gash subestima I em 32,04 mm. O modelo, assim como o de Rutter, subestima os valores de I medidos abaixo de 10 mm. Na Figura 10 é apresentada a correlação entre os valores medidos e estimados de I , onde resultou na equação de regressão linear $I = 0,7988 (P) + 8,5237$ com R^2 de 0,9942. Estudo realizado por Medeiros et al (2009), para área de Caatinga preservada no município de Aiuaba, estado do Ceará, evidenciou que o modelo proposto por Gash é aplicável para a região semiárida do Brasil.

Erros dos Modelos

Em geral, os modelos utilizados neste estudo predisseram a interceptação florestal de maneira satisfatória como observado pelos modelos estatísticos (Tabela 15). O NSE, para os

dois modelos foi considerado bom ($> 0,75$). Na análise do desempenho dos modelos, observou-se que para o modelo de Rutter os valores foram subestimados em 10,78%, já Gash 12,52%, sendo considerado aceitáveis ($< 25\%$). Estudo realizado por Navar (2017), aplicando o NSE, observou que os modelos em estudo são considerados bons para estimar a interceptação, corroborando com este trabalho.

Tabela 15 - Valores de NSE e Pbias para os modelos de Rutter e Gash

Modelo	NSE	Pbias (%)
Rutter	0,99	10,76
Gash	0,98	12,52

Conclusões

A interceptação das chuvas obtida pela cobertura florestal em área de brejo de altitude foi de 179,02 mm, correspondendo a 38,38 % da precipitação total;

Os modelos de perda por interceptação utilizados nesse trabalho predisseram a interceptação vegetal de maneira satisfatória para a área de brejo em estudo;

A melhor simulação foi observada com o emprego do modelo de Rutter, com o qual foi obtido o menor valor de erro relativo para a interceptação acumulada ao final do período monitorado com o valor de 10%. Já para o modelo de Gash obteve-se um erro relativo da interceptação acumulada de 12%

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro e bolsas concedida aos autores

Referências

CALUX, J.; THOMAZ, E. L. Intercepção e precipitação interna: comparação entre floresta ombrófila mista e *Pinus elliottii* var. *elliotti*. **Geoambiente On-line**, v. 4, n. 19, p. 01-16, 2012.

CARLYLE-MOSES, D. E.; LISHMAN, C. E.; MCKEE, A. J. A preliminary evaluation of throughfall sampling techniques in a mature coniferous forest. **Journal of forestry research**, v. 25, n. 2, p. 407-413, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUARIA DO RIO GRANDE DO NORTE – EMPARN.

Monitoramento pluviométrico, 2017. Disponível em <http://187.61.173.26/monitoramento/monitoramento.php>. Acesso em: 19 set. 2017

FERNANDES, R. P.; COSTA SILVA, R. W.; SALEMI, L. F.; ANDRADE, T. M. B.; MORAES, J. M.; VAN DIJK, A. I.; MARTINELLI, L. A. The influence of sugarcane crop development on rainfall interception losses. **Journal of Hydrology**, v. 551, p. 532-539, 2017.

GASH, J. H. C. An analytical model of rainfall interception by forests. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 105, n. 443, p. 43-55, 1979.

GIGLIO, J. N.; KOBİYAMA, M. Intercepção da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 297-317, 2013.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 01, n. 02, p. 96-99, 1985.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE – IDEMA. **Perfil do seu município: Portalegre**. 2008. Disponível em:

<

http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/arquivos/Perfil%202008/Portalegre.pdf> Acesso em: 19 set. 2017.

IIDA, S. I.; LEVIA, D. F.; SHIMIZU, A.; SHIMIZU, T.; TAMAI, K.; NOBUHIRO, T.; ARAKI, M. Intrastorm scale rainfall interception dynamics in a mature coniferous forest stand. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 770-783, 2017.

LIMA, P.R.A.; LEOPOLDO, P.R. Quantificação de componentes hidrológicos de uma mata ciliar, através do modelo de balanço de massas. **Revista Árvore**, v.24, n.3, p.241—252, 2000.

LLOYD, C. R.; MARQUES, A. O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 42, n. 1, p. 63-73, 1988.

MEDEIROS, P.H.A.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semiarid region. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.40, n. 2, p.165–174, 2009.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO (MI) – MI – MINISTÉRIOD A INTEGRAÇÃO NACIONAL. Ano: 2005. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/>>. Acessado em: 01/02/2013.

MOURA, A. E. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. L. C.; FIGUEIREDO, A. C.; POSSAS, J. M. C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da mata atlântica na bacia do prata, Recife-PE. **Revista Árvore**, v.33, p.461-469, 2009.

MUZYLO, A.; LLORENS, P.; VALENTE, F.; KEIZER, J. J.; DOMINGO, F.; GASH, J. H. C. A review of rainfall interception modelling. **Journal of hydrology**, v. 370, n. 1, p. 191-206, 2009.

NÁVAR, J. Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 458-470, 2017.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. E. River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. **Journal of Hydrology**., v. 10, n. 3, p. 282-290, Apr. 1970.

OLIVEIRA, L. D., COSTA, R. D., COSTA, A. D., SOUSA, F., & BRAGA, A. Modelagem da interceptação na floresta nacional de caxiuanã, no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 318-326, 2008.

RUTTER, A. J.; KERSHAW, K. A.; ROBINS, P. C.; MORTON, A. J. A predictive model of rainfall interception in forests. I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. **Agricultural Meteorology**, v. 9, n. 2, p. 367-384, 1971.

RUTTER, A. J. The hydrological cycle in vegetation. **Vegetation and the Atmosphere**, v. 1, p. 111-154, 1975.

SÁ, J. H. M.; CHAFFE, P. L. B.; OLIVEIRA, D. Y. Análise comparativa dos modelos de Gash e de Rutter para a estimativa da interceptação por Floresta Ombrófila Mista. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 1008 – 1018, 2015.

SANTOS, J. C.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H.; ARAUJO NETO, J. R.; PALACIO, H. A. Q; RODRIGUES, R. N. Determinação do fator de cobertura e dos coeficientes da MUSLE em microbacias no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, n. 11, 2014.

SILVA, D. C. **Interceptação da chuva e escoamento superficial de água no solo no semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Serra Takhada, 2017, 59f.: il.