

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO**

TESE

**Índices de Desagregação e Parâmetros de Chuva
Intensa no Estado do Rio de Janeiro e Efeito da
Chuva Simulada na Erosão Hídrica e Infiltração de
Água no Solo**

Wilk Sampaio de Almeida

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

**ÍNDICES DE DESAGREGAÇÃO E PARÂMETROS DE CHUVA
INTENSA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E EFEITO DA
CHUVA SIMULADA NA EROÇÃO HÍDRICA E INFILTRAÇÃO DE
ÁGUA NO SOLO**

WILK SAMPAIO DE ALMEIDA

Sob orientação do Professor
Daniel Fonseca de Carvalho

e Co-orientação do Professor
Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

e Co-orientação da Pesquisadora
Janaína Ribeiro Costa Rouws

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica - RJ
Dezembro de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha Catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A447i Almeida, Wilk Sampaio de, 1989-
Índices de Desagregação e Parâmetros de Chuva
Intensa no Estado do Rio de Janeiro e Efeito da Chuva
Simulada na Erosão Hídrica e Infiltração de Água no
Solo / Wilk Sampaio de Almeida. – Seropédica, RJ,
2018.
99 f. : il.
Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.
Coorientadora: Janaína Ribeiro Costa Rouws.
Coorientador: Luiz Fernando Coutinho de Oliveira.
Tese (Doutorado) . – Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do
Solo, 2018.

1. Simulador de chuvas. 2. Processo erosivo do
solo. 3. Perda do solo e da água. I. Carvalho, Daniel
Fonseca de, 1968-, orient. II. Rouws, Janaína Ribeiro
Costa, 1973-, coorient. III. Oliveira, Luiz Fernando
Coutinho de, 1963-, coorient. IV Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro. Pós-Graduação em Agronomia
Ciência do Solo. V. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO**

WILK SAMPAIO DE ALMEIDA

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 20/12/2018

Daniel Fonseca de Carvalho. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Conan Ayade Salvador. Dr. UFRRJ

Nivaldo Schultz. Dr. UFRRJ

Elói Panachuki. Dr. UEMS

Guilherme Kangussu Donagemma. Dr. EMBRAPA Solos

DEDICATÓRIA

*É de sonho e de pó
O destino de um só
Feito eu perdido em pensamentos
Sobre o meu cavalo
É de laço e de nó
De gibeira ou jiló
Dessa vida cumprida a sol*

*Sou caipira pirapora nossa
Senhora de Aparecida
Ilumina a mina escura
E funda o trem da minha vida
Sou caipira pirapora nossa
Senhora de Aparecida
Ilumina a mina escura
E funda o trem da minha vida*

**O meu pai foi peão
Minha mãe, solidão**
*Meus irmãos perderam-se na vida
A custa de aventuras
Descasei, joguei
Investi, desisti
Se há sorte eu não sei, nunca vi...*

(Romaria, de Renato Teixeira)

Aos meus pais
*Maria Aparecida Nunes Sampaio
e Joaquim José de Almeida (in memoriam)*

e
À minha amada esposa
Rosalba Ortega Fors

DEDICO.

Maria, Maria

*É um dom, uma certa magia
Uma força que nos alerta
Uma mulher que merece
Viver e amar
Como outra qualquer
Do planeta*

Maria, Maria

*É o som, é a cor, é o suor
É a dose mais forte e lenta
De uma gente que ri
Quando deve chorar
E não vive, apenas aguenta*

*Mas é preciso ter força
É preciso ter raça
É preciso ter gana sempre
Quem traz no corpo a marca*

Maria, Maria

Mistura a dor e a alegria

*Mas é preciso ter manha
É preciso ter graça
É preciso ter sonho sempre
Quem traz na pele essa marca
Possui a estranha mania
De ter fé na vida...*

(Maria Maria, de Milton Nascimento)

À minha querida mainha
Maria.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai por minha vida, coragem e persistência para percorrer esta jornada até aqui.

Aos meus pais Maria A.N. Sampaio e Joaquim J. de Almeida, por todos os ensinamentos e princípios morais, que carregarei até a minha desapareição física. De maneira muito especial à minha mãe, Maria, por me conduzir ao ensino formal, por ter Fé que *“filho de pobre também pode estudar”*, por todo o seu sacrifício para honrar esta Fé, por suas mãos calejadas e por suas diárias na enxada, de sol a sol, para que eu pudesse estudar. Estas foram as razões pelas quais sempre persisti e cheguei até aqui.

Ao Professor Daniel Fonseca de Carvalho pela orientação ao longo dos últimos 10 anos. E a toda a sua família por todos os momentos compartilhados.

Ao Professor Luiz Fernando Coutinho de Oliveira (UFLA) por sua orientação.

À Pesquisadora Janaína Ribeiro Costa Rouws por sua orientação, sua ajuda nas análises estatísticas e por toda assistência na Embrapa Agrobiologia, sempre que precisei.

Ao chefe do campo experimental Terraço (Embrapa Agrobiologia), Alderi e aos funcionários do Terraço por toda a ajuda durante a condução dos experimentos a campo.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Água e Solo em Sistemas Agrícolas (GPASSA), aos quais sou muito grato por tudo que fizemos juntos desde 2008.

Aos colegas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) por toda a convivência durante os dez anos e cinco meses que aqui estive. Sobretudo aos amigos que carrego *“do lado esquerdo do peito”*.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), minha casa nos últimos anos (2008 a 2018), na qual obtive a formação de Engenheiro Agrônomo, de mestrado em Agronomia-Ciência do Solo e de doutorado em Agronomia-Ciência do Solo. Realmente a Rural é uma mãe e me ensinou muitíssimo.

Aos servidores, técnicos administrativos e os nossos mestres Professores, da UFRRJ.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo (PPGA - CS), em nome de seus docentes e técnicos, por todas as contribuições à nossa formação e ao desenvolvimento da Ciência do Solo e do Brasil.

Aos membros da banca examinadora de doutorado, por todas as sugestões feitas para melhoria da presente tese: Dr. Conan Ayade Salvador (UFRRJ), Dr. Daniel Fonseca de Carvalho (UFRRJ), Dr. Elói Panachuki (UEMS), Dr. Nivaldo Schultz (UFRRJ) e Dr. Guilherme Kangussu Donagemma (EMBRAPA Solos - RJ).

À Professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos por seus ensinamentos, incentivo e ajuda para imersão na Ciência do Solo e também pela correção final da presente tese.

Ao Professor Marcos Gervásio Pereira por sua orientação para as coletas de atributos físicos de solo e disponibilização do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos para realização das análises.

Ao Professor Nivaldo Schultz por sua ajuda na etapa da experimentação a campo.

A Carlos Roberto Pinheiro Júnior e à Shirlei Almeida Assumpção por toda a ajuda nas análises de carbono orgânico total do solo e de estabilidade de agregados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo auxílio financeiro dos projetos e das bolsas de estudo concedidas (iniciação científica, 2010-2011; 2011-2012; 2012-2013; mestrado, 2013-2015; e doutorado, 2015-2016).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio ao aprimoramento dos profissionais da Ciência no Brasil, por meio do financiamento das pesquisas.

À AGEVAP por apoiar financeiramente o desenvolvimento do projeto a campo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Rondônia (IFRO) por acreditar em seus servidores e incentivar a capacitação por meio da concessão do afastamento para a conclusão deste curso de doutoramento na UFRRJ. Especialmente ao *Campus Colorado do Oeste*, no qual sou lotado e desenvolvo minhas funções docentes.

MUITO OBRIGADO A TODOS.

BIOGRAFIA

WILK SAMPAIO DE ALMEIDA, filho de Joaquim José de Almeida e Maria Aparecida Nunes Sampaio, nasceu em Jaru - RO, aos 18 de agosto de 1989.

Viveu no sítio da família na zona rural do município de Governador Jorge Teixeira - RO, próxima à Escola Municipal Pedras Brancas, na qual cursou as primeiras séries (1ª, 2ª e 3ª) em sala multisseriada. Em 2000 ingressou na Escola Municipal Armindo Ferreira Fraga na cidade de Governador Jorge Teixeira e de 2001 a 2004 cursou o Ensino Fundamental na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Costa Júnior, na mesma cidade.

Na adolescência, aos quatorze anos foi aprovado em vestibular e mudou-se para Colorado do Oeste - RO para cursar o Ensino Médio integrado ao Ensino Técnico na Escola Agrotécnica Federal de Colorado do Oeste - EAFCO. Ingressou na EAFCO em fevereiro de 2005 e foi aluno interno (residiu no alojamento) até o final do curso. Em dezembro de 2007 concluiu o curso obtendo o título de Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio.

Também em dezembro de 2007 prestou vestibular para a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ e em março de 2008 iniciou o curso de Agronomia na UFRRJ, em Seropédica - RJ. Residiu no alojamento da Universidade até a conclusão do curso. Em dezembro de 2012 foi aprovado na seleção para o mestrado em Agronomia-Ciência do Solo na UFRRJ. Em março de 2013, obteve o título de Engenheiro Agrônomo pela UFRRJ e iniciou o mestrado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo (CPGA-CS/UFRRJ). Em fevereiro de 2015 concluiu o mestrado e iniciou o curso de doutorado em Agronomia-Ciência do Solo no mesmo Programa (PPGA-CS/UFRRJ).

Em fevereiro de 2016 foi aprovado em concurso público de provas para o cargo efetivo de Professor da área de Agronomia no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. Após tomar posse no cargo foi lotado no IFRO *Campus* Colorado do Oeste (antiga EAFCO). No curso de Engenharia Agrônômica lecionou/leciona as disciplinas de Nutrição Mineral de Plantas; Adubos e Adubações; Agrometeorologia; Física e Classificação de Solos; Hidráulica; Irrigação e Drenagem; e Manejo e Conservação do Solo e da Água. Lecionou a disciplina de Irrigação e Drenagem no curso de Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio e, atualmente leciona a disciplina de Solos.

Em dezembro de 2018 submeteu-se à defesa de tese, requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências (Agronomia-Ciência do Solo) no Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo da UFRRJ.

RESUMO GERAL

ALMEIDA, Wilk Sampaio de. **Índices de Desagregação e Parâmetros de Chuva Intensa no Estado do Rio de Janeiro e Efeito da Chuva Simulada na Erosão Hídrica e Infiltração de Água no Solo**. 2018. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

A escassez de informações pluviográficas é o principal fator que limita a caracterização do potencial erosivo de determinada região e da estimativa da chuva crítica de projeto para uso em dimensionamento de projetos hidráulicos. Além disso, as práticas inadequadas de manejo do solo intensificam o processo de erosão hídrica e reduzem a infiltração de água no solo. Neste estudo foram estimadas as relações entre precipitações de diferentes durações (coeficientes de desagregação); os parâmetros das equações de chuvas intensas para diferentes localidades do Estado do Rio de Janeiro; avaliou-se a erosão entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sob preparo convencional (duas grades aradoras e uma niveladora) e diferentes combinações de intensidades (IP) e durações (Dur) de chuvas simuladas de igual erosividade; mediu-se a infiltração de água no solo medida por infiltrômetro de aspersão e de anéis concêntricos; e, realizou-se o ajuste dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip para estimativa da taxa de infiltração. No estudo de chuvas extremas foram consideradas séries máximas anuais de 5 min a 240 min, associadas a períodos de retorno de 5 a 100 anos. A relação média entre chuvas varia de $0,40 \pm 0,10$ a $1,04 \pm 0,02$, com maiores valores para a mesoregião Sul Fluminense. As relações entre chuvas obtidas para as localidades do Rio de Janeiro são maiores que aquelas constatadas em outras regiões do Brasil. As relações intensidade-duração-frequência possuem baixa variabilidade entre as localidades estudadas e os maiores valores dos parâmetros k , a , b e c foram constatados, respectivamente nas regiões Metropolitana, Baixadas Litorâneas e Centro Fluminense. Quanto aos estudos de erosão hídrica e infiltração, foi constatado que na condição de solo revolvido e sem cobertura em superfície, a produção de sedimentos variou de $2,17 \text{ g m}^{-2}$ a $6,12 \text{ g m}^{-2}$, respectivamente nos tratamentos IP 52,9 e Dur 78 min e IP 44,6 mm h^{-1} e Dur 106 min. Além disso, o escoamento superficial variou de 17,07 mm a 30,53 mm, respectivamente nos tratamentos IP 53,5 mm h^{-1} e 76,5 mm h^{-1} . Nesse caso, maior taxa de infiltração estável (TIE) foi mensurada com o infiltrômetro de anéis concêntricos em comparação às taxas obtidas com infiltrômetro de aspersão. As durações e intensidades de chuvas alteraram a produção de sedimentos, mas não foi constatada diferença significativa no escoamento superficial. De outro modo, para o solo com palhada de milho em superfície, a produção de sedimentos variou de $1,89 \pm 1,26 \text{ g m}^{-2}$ a $4,02 \pm 2,66 \text{ g m}^{-2}$ e o escoamento superficial variou de $16,9 \pm 8,74 \text{ mm}$ a $32,63 \pm 10,67 \text{ mm}$. Nessa condição, constatou-se que as durações e intensidades das chuvas não alteraram significativamente a produção de sedimentos e o escoamento superficial. A infiltração de água medida com os anéis concêntricos possui maior variabilidade, verificando-se TIE quantificada na duração 78 min é igual à TIE obtidas com o infiltrômetro de aspersão e estas maiores que as taxas das durações 106 e 60 min dos anéis concêntricos. Maiores erros na estimativa das taxas de infiltração pelos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip foram constatados quando se utiliza os anéis concêntricos para medir a infiltração, contudo, na condição na presença de cobertura sobre o solo, o desempenho dos modelos foi semelhante.

Palavras chave: Simulador de chuvas. Processo erosivo do solo. Perda de solo e de água. Chuvas intensas. Taxa de infiltração.

GENERAL ABSTRACT

ALMEIDA, Wilk Sampaio de. **Disaggregation Indices and Parameters of Intense Rainfall in the State of Rio de Janeiro and Effect of Simulated Rainfall on Hydric Erosion and Soil Water Infiltration**. 2018. 97p. Thesis (Doctor Science in Agronomy-Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

The lack of rainfall information is the main factor limiting the characterization of erosive potential of a given region and estimation of critical rainfall for use in the design of hydraulic works. In addition, inadequate soil management practices intensify the process of water erosion and infiltration of water into the soil. In this study, the relationships between precipitations of different durations (coefficients of disaggregation) were estimated; the parameters of intense rainfall equations for different localities of State of Rio de Janeiro; erosion was evaluated in a *Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico* (Rhodudults, according the Soil Taxonomy) under conventional tillage (two harrows and a grader) and different combinations of intensities (IP) and durations (Dur) of simulated rainfall of equal erosivity; soil water infiltration measured by sprinkler infiltrometer and concentric rings was measured; and the adjustment of the Kostiakov-Lewis, Horton and Philip models was performed to estimate the infiltration rate. In the study of extreme rains, maximum annual series of 5 min to 240 min were considered, associated to return periods of 5 to 100 years. The mean rainfall ratios vary from 0.40 ± 0.10 to 1.04 ± 0.02 , with higher values for the Southern Fluminense mesoregion. The relationships between rains obtained for the localities of Rio de Janeiro are higher than those observed in other regions of Brazil. The intensity-duration-frequency relations have low variability between studied locations and the highest values of the parameters k, a, b and c were found, respectively, in the *Metropolitana*, *Baixadas Litorâneas* and *Centro Fluminense* regions. As for water erosion and infiltration studies, it was found that in the condition of upturned soil and without surface cover, sediment yield ranged from 2.17 g m^{-2} to 6.12 g m^{-2} , respectively in the treatments IP 52,9 and Dur 78 min and IP 44.6 mm h^{-1} and Dur 106 min. In addition, runoff ranged from 17.07 mm to 30.53 mm, respectively in the IP 53.5 mm h^{-1} and 76.5 mm h^{-1} treatments. In this case, a higher stable infiltration rate (SIR) was measured with the concentric ring infiltrator in comparison to rates obtained with a spray infiltrometer. Rainfall durations and intensities changed sediment yield, but no significant difference in runoff was observed. Otherwise, for soil with corn straw on the surface, sediment yield ranged from $1.89 \pm 1.26 \text{ g m}^{-2}$ to $4.02 \pm 2.66 \text{ g m}^{-2}$ and runoff ranged from $16.9 \pm 8.74 \text{ mm}$ at $32.63 \pm 10.67 \text{ mm}$. In this condition, rainfall durations and intensities did not significantly alter sediment yield and surface runoff. The infiltration of water measured with the concentric rings has a greater variability, with an SIR quantified in the duration 78 min is equal to the SIR obtained with the sprinkler infiltrometer, and these are greater than the rates of the durations 106 and 60 min of the concentric rings. Higher errors in estimating infiltration rates by the Kostiakov-Lewis, Horton and Philip models were found when using concentric rings to measure infiltration, however, in the condition in the presence of ground cover, model performance was similar.

Key words: Rainfall simulator. Soil erosion process. Soil and water losses. Intense rainfall. Infiltration rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das estações pluviográficas em base georreferenciada do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Machado (2013).	9
Figura 2. Intensidades de precipitação observada em função do período de retorno e das regiões do Estado do Rio de Janeiro.	20
Figura 3. Relação entre intensidades observada e estimada nas distintas localidades do Estado do Rio de Janeiro.	21
Figura 4. Simulador de chuvas portátil de disco rotativo e parcela experimental após aplicação de chuva a campo. (Fonte: arquivo pessoal do autor).	32
Figura 5. Escoamento superficial acumulado (mm) (A) e produção acumulada de sedimentos (g m^{-2}) (B) para diferentes combinações de intensidades versus duração das chuvas, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	35
Figura 6. Taxa de escoamento superficial (mm h^{-1}) (A) e de produção de sedimentos ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) (B) para diferentes combinações de intensidade versus duração da chuva, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	37
Figura 7. Razão de produção de sedimentos (g m^{-2}) em função do escoamento superficial (mm) para as diferentes combinações de intensidade versus duração de chuvas, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	38
Figura 8. Cobertura vegetal na superfície do solo após aplicação das chuvas com combinações de intensidade e duração (IP) e (Dur) 44,5 mm h^{-1} e 106 min; 53,5 mm h^{-1} e 78 min; 60,4 mm h^{-1} e 60 min; 66,9 mm h^{-1} e 48 min; e, 76,5 mm h^{-1} e 38 min, respectivamente imagens digitais (a, c, e, g, i) e binárias (b, d, f, h, j).....	40
Figura 9. Taxa de escoamento superficial (A) e de produção de sedimentos (B) para diferentes combinações de intensidade de precipitação versus duração de chuva simulada, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico.	43
Figura 10. Infiltrômetro de anéis concêntricos e reservatório de água, durante avaliação a campo. (Fonte: arquivo pessoal do autor).	57
Figura 11. Infiltração de água no solo (mm h^{-1}) para os diferentes tratamentos, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sem cobertura vegetal.....	60
Figura 12. Infiltração de água no solo (mm h^{-1}) para os diferentes tratamentos, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sem cobertura vegetal.....	62
Figura 13. Taxas de infiltração de água observadas e estimadas pelos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip nos tratamentos InfiAsper 106 (A), InfiAsper 78 (B), InfiAsper 60 (C) e anéis concêntricos (D)	64
Figura 14. Taxas de infiltração de água observadas e estimadas pelos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip nos tratamentos InfiAsper 106 (A), InfiAsper 78 (B), InfiAsper 60 (C), anéis concêntricos 106 (D), anéis concêntricos 78 (E) e anéis concêntricos 60 (F).....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações pluviográficas estudadas e suas respectivas localizações geográficas.....	8
Tabela 2. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a região Baixadas Litorâneas no Estado do Rio de Janeiro	14
Tabela 3. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a Região Centro Fluminense, no Estado do Rio de Janeiro.....	15
Tabela 4. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a Região Metropolitana, no Estado do Rio de Janeiro.....	15
Tabela 5. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a Região Norte Fluminense, no Estado do Rio de Janeiro	16
Tabela 6. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a Região Sul Fluminense no Estado do Rio de Janeiro	17
Tabela 7. Coeficientes k, a, b e c das equações de chuvas intensas ajustadas para várias localidades do Estado do Rio de Janeiro	19
Tabela 8. Valores médios de carbono orgânico (C_{org}), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PoT), densidade do solo (Ds) e umidade antecedente às chuvas por tratamento e profundidade do solo (0-10 cm representado por 10; 10-20 cm representado por 20)	34
Tabela 9. Escoamento superficial, produção acumulada de sedimentos e tempo para início de escoamento superficial para os diferentes tratamentos, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	36
Tabela 10. Índice de cobertura vegetal e massa seca da palhada de milho sobre a superfície do solo para os diferentes tratamentos	40
Tabela 11. Tempo para início de escoamento superficial e umidade antecedente à aplicação de chuvas com diferentes combinações de intensidade de precipitação e duração, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	41
Tabela 12. Escoamento superficial e produção de sedimentos acumulados de chuvas com diferentes combinações de intensidade de precipitação e duração, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico.....	41
Tabela 13. Taxa de infiltração estável (TIE) em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sem cobertura em superfície medida com infiltrômetro de anéis (Anéis) e com infiltrômetro de aspersão (InfiAsper)	60
Tabela 14. Taxa de infiltração e taxa de infiltração estável em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico com palhada de milho em superfície e relação entre infiltrômetro de anéis (Anéis) e infiltrômetro de aspersão (InfiAsper)	62
Tabela 15. Índices estatísticos dos diferentes modelos ajustados para a taxa de infiltração estimada versus a taxa de infiltração observada em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sem cobertura em superfície.....	63
Tabela 16. Parâmetros dos modelos para estimativa da taxa de infiltração de água em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sem cobertura em superfície	64
Tabela 17. Índices estatísticos dos diferentes modelos ajustados para a taxa de infiltração estimada versus a taxa de infiltração observada em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico com palhada de milho em superfície.....	65
Tabela 18. Parâmetros dos modelos para estimativa da taxa de infiltração de água em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico com palhada de milho em superfície	67
Tabela 19. Parâmetros dos modelos para estimativa da taxa de infiltração de água em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico com palhada de milho em superfície.....	67

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Relação entre a precipitação máxima de 5 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	77
Anexo 2. Relação entre a precipitação máxima de 15 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	78
Anexo 3. Relação entre a precipitação máxima de 15 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	79
Anexo 4. Relação entre a precipitação máxima de 20 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	80
Anexo 5. Relação entre a precipitação máxima de 25 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	81
Anexo 6. Relação entre a precipitação máxima de 30 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	82
Anexo 7. Relação entre a precipitação máxima de 35 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	83
Anexo 8. Relação entre a precipitação máxima de 40 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	84
Anexo 9. Relação entre a precipitação máxima de 45 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	85
Anexo 10. Relação entre a precipitação máxima de 50 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	86
Anexo 11. Relação entre a precipitação máxima de 55 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	87
Anexo 12. Relação entre a precipitação máxima de 60 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	88
Anexo 13. Relação entre a precipitação máxima de 70 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	89
Anexo 14. Relação entre a precipitação máxima de 80 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	90
Anexo 15. Relação entre a precipitação máxima de 90 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	91
Anexo 16. Relação entre a precipitação máxima de 100 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	92

Anexo 17. Relação entre a precipitação máxima de 110 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	93
Anexo 18. Relação entre a precipitação máxima de 120 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	94
Anexo 19. Relação entre a precipitação máxima de 135 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	95
Anexo 20. Relação entre a precipitação máxima de 150 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	96
Anexo 21. Relação entre a precipitação máxima de 165 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	97
Anexo 22. Relação entre a precipitação máxima de 180 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	98
Anexo 23. Relação entre a precipitação máxima de 210 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro	99

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. CAPÍTULO I.....	3
COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO E RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	3
2.1 RESUMO.....	4
2.2 ABSTRACT	5
2.3 INTRODUÇÃO.....	6
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.4.1 Dados Pluviográficos.....	8
2.4.2 Obtenção das Relações Entre Chuvas de Distintas Durações	9
2.4.3 Frequência de Ocorrência e Período de Retorno	10
2.4.4 Avaliação da Homogeneidade dos Coeficientes de Desagregação	11
2.4.5 Obtenção das Relações Intensidade-Duração-Frequência.....	11
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
2.5.1 Relações Entre Chuvas de Diferentes Durações.....	14
2.5.2 Parâmetros das Relações Intensidade-Duração-Frequência	18
2.6 CONCLUSÕES	22
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
3. CAPÍTULO II.....	26
EROSÃO ENTRESSULCOS SOB DIFERENTES DURAÇÕES E INTENSIDADES DE CHUVA SIMULADA	26
3.1 RESUMO.....	27
3.2 ABSTRACT	28
3.3 INTRODUÇÃO.....	29
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.4.1 Área Experimental	31
3.4.2 Caracterização dos Tratamentos	31
3.4.3 Avaliação da Erosão	31
3.4.4 Atributos do Solo	33
3.4.5 Percentual de Cobertura do Solo	33
3.4.6 Análise Estatística.....	33
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.5.1 Experimento 1.....	34
3.5.1.1 Atributos do Solo.....	34
3.5.1.2 Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos Acumulados	34
3.5.1.3 Taxas de Escoamento Superficial e de Produção de Sedimentos.....	36
3.5.1.4 Efeito do Escoamento Superficial na Produção de Sedimentos.....	38
3.5.2 Experimento 2.....	38
3.5.2.1 Percentual de Cobertura do Solo	38
3.5.2.2 Tempo para Escoamento Superficial e Umidade Antecedente às Chuvas	40
3.5.2.3 Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos Acumulados	41
3.5.2.4 Taxas de Escoamento Superficial e de Produção de Sedimentos.....	42
3.6 CONCLUSÕES	45
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

4. CAPÍTULO III	52
INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E AJUSTE DE MODELOS PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE INFILTRAÇÃO	52
4.1 RESUMO.....	53
4.2 ABSTRACT	54
4.3 INTRODUÇÃO.....	55
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	56
4.4.1 Caracterização da Área Experimental	56
4.4.2 Tratamentos e Delineamento Experimental.....	56
4.4.3 Medição da Infiltração de Água no Solo	56
4.4.4 Modelos para Estimativa da Taxa de Infiltração de Água no Solo	57
4.4.5 Análise Estatística.....	58
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.5.1 Taxa de Infiltração de Água no Solo	60
4.5.1.1 Experimento 1	60
4.5.1.2 Experimento 2	61
4.5.2 Desempenho dos Modelos para Estimativa da Taxa de Infiltração.....	63
4.5.2.1 Experimento 1	63
4.5.2.2 Experimento 2	64
4.6 CONCLUSÕES	68
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	76
6. ANEXOS.....	77

1. INTRODUÇÃO GERAL

A escassez de registros pluviográficos para a caracterização do potencial erosivo das chuvas é uma grande limitação para o planejamento e a implantação de práticas conservacionistas, ou, para aumentar a eficiência daquelas já implementadas. Assim, algumas metodologias foram desenvolvidas para estimar o potencial erosivo das chuvas ou erosividade, como o índice modificado de Fournier ou coeficiente de chuvas, equações de regressão e desagregação de chuvas diárias.

Em países com clima tropical, como o Brasil, o processo de degradação do solo ocorre principalmente por meio da erosão hídrica. O elevado índice pluviométrico e o alto potencial erosivo das chuvas, associadas às práticas inadequadas de manejo e à ausência de cobertura vegetal na superfície do solo, intensificam o processo erosivo. Geralmente, em sistemas de produção sob manejo convencional, o solo revolvido antes do plantio permanece sem cobertura vegetal no início da época chuvosa, o que ocasiona elevadas taxas de produção de sedimentos e de escoamento superficial.

A desagregação das partículas do solo depende, dentre outros fatores, das características físicas da chuva como duração, lâmina e intensidade de precipitação. Assim, diferentes perdas de solo podem ser esperadas em função do modo com que as chuvas ocorrem, além do fato de chuvas com mesmo potencial erosivo produzir quantidades de sedimentos distintas de acordo com suas características físicas.

A quantificação do processo erosivo e da infiltração de água no solo pode ser feita com distintas metodologias. Entretanto os simuladores de chuva possibilitam maior controle dos fatores intervenientes nos processos, além da possibilidade de repetição das chuvas e o menor tempo para obtenção dos resultados. Dessa maneira, as taxas de produção de sedimentos e infiltração de água no solo podem ser obtidas com maior praticidade e rapidez, além da repetição de uma mesma chuva e a aplicação de chuvas com características físicas distintas.

Desenvolveu-se este estudo com a hipótese de que as relações intensidade-duração-frequência e os coeficientes de desagregação de chuva diária variam nas diferentes localidades do Estado do Rio de Janeiro e que a duração e a intensidade de chuvas simuladas com igual potencial erosivo alteram a produção de sedimentos e o escoamento superficial. Além disso, a infiltração de água no solo varia em função da metodologia de obtenção e da intensidade da chuva aplicada.

Portanto, objetivou-se determinar as relações entre chuvas de distintas durações (coeficientes de desagregação de chuva diária) e estimar os parâmetros das equações de chuvas intensas para diferentes localidades do Estado do Rio de Janeiro, além da avaliação do efeito da intensidade e da duração da chuva simulada na erosão entressulcos do solo, bem como a medida da infiltração de água no solo com diferentes metodologias após o preparo convencional e após o cultivo da cultura de milho em área de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

No Capítulo I foram estimadas as relações entre chuvas de distintas durações e os parâmetros das relações intensidade-duração-frequência (IDF). No Capítulo II avaliou-se o efeito da duração e da intensidade de chuvas simuladas com igual erosividade na erosão entressulcos, com ausência e presença de cobertura vegetal sobre o solo. No Capítulo III apresenta-se a quantificação da infiltração de água no solo, mensurada com o infiltrômetro de anéis concêntricos e com o infiltrômetro de aspersão (simulador de chuvas), e o ajuste dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip para estimativa das taxas de infiltração de água no solo.

2. CAPÍTULO I

COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO E RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

2.1 RESUMO

A escassez de informações pluviográficas consistentes é o principal fator que limita a adequada caracterização do potencial erosivo regional e, também, da estimativa da chuva crítica de projeto usada no dimensionamento de projetos hidráulicos. Neste estudo foram estimadas as relações entre precipitações de diferentes durações (coeficientes de desagregação) e as relações intensidade-duração-frequência (IDF) para diferentes localidades do Estado do Rio de Janeiro. Os registros pluviográficos de 34 estações meteorológicas foram utilizados para obtenção dos coeficientes de desagregação, dos quais foram estabelecidas séries máximas anuais com duração variando de 5 min a 240 min, e período de retorno de 5 a 100 anos. A aderência dos coeficientes de desagregação à função Gumbel foi verificada utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. A relação média entre chuvas com distintas durações associadas aos períodos de retorno de 5 a 100 anos varia de $0,40 \pm 0,10$ a $1,04 \pm 0,02$. Os coeficientes de desagregação variaram para as relações de 5 min/30 min e 165 h/240 min, respectivamente, de $0,54 \pm 0,11$ a $1,08 \pm 0,05$ na região das Baixadas Litorâneas, de $0,28 \pm 0,04$ a $1,06 \pm 0,02$ na região Centro Fluminense, de $0,27 \pm 0,14$ a $1,06 \pm 0,01$ na região Metropolitana, de 0,43 a 1,06 na região Noroeste Fluminense, de 0,25 a 1,05 na região Norte Fluminense e de $0,33 \pm 0,03$ a $1,06 \pm 0,02$ na região Sul Fluminense. Na análise das equações IDF, o parâmetro “k” variou de 2106,98 na estação Ilha Guaíba a 8401,70 na estação Ecologia Agrícola, ambas na região Metropolitana. O parâmetro “a” variou de 0,08 na estação Vila Mambucaba (Sul Fluminense) a 0,23 na estação Álcalis (Baixadas Litorâneas). O parâmetro “b” variou de 7,22 na estação Ilha Guaíba (Região Metropolitana) a 254,77 na estação Rio Mole (Baixadas Litorâneas) e o parâmetro “c” variou de 0,84 na estação Fazenda Santo Amaro (Região Metropolitana) a 1,25 na estação Carmo (Centro Fluminense). Os maiores valores das relações entre precipitações de diferentes durações obtidas para as localidades do Rio de Janeiro foram constatados nas regiões das Baixadas Litorâneas, do Noroeste Fluminense e do Sul Fluminense, devido aos mecanismos de formação das chuvas nessas regiões como maior disponibilidade de umidade e de radiação.

Palavras-chave: Discretização de dados pluviométricos. Chuva diária. Relações IDF.

2.2 ABSTRACT

The lack of consistent rainfall information is the main factor limiting the adequate characterization of the regional erosion potential and the critical rainfall estimation used in the design of hydraulic projects. In this study, the relationships between precipitations of different durations (disaggregation coefficients) and intensity-duration-frequency relations (IDF) for different locations in the State of Rio de Janeiro were estimated. The pluviographic records of 34 meteorological stations were used to obtain the disaggregation coefficients, from which maximum annual series were established, ranging from 5 min to 240 min, and a return period of 5 to 100 years. The adherence of the disaggregation coefficients to the Gumbel function was verified using the Kolmogorov-Smirnov test at 5% probability. The average relation between rainfall with different durations associated to the return periods of 5 to 100 years varies from 0.40 to 1.04. The coefficients of disaggregation varied for the 5 min/30 min and 165 min/240 min, respectively, from 0.54 to 1.08 in the Baixadas Litorâneas region, from 0.28 to 1.06 in the Central Fluminense region, from 0.27 to 1.06 in the Metropolitan region, from 0.43 to 1.06 in the Northwest Fluminense region, from 0.25 to 1.05 in the Northern Fluminense region and from 0.33 to 1.06 in the South Fluminense region. In the analysis of the IDF equations, the parameter "k" ranged from 2106.98 at the Guaíba island station to 8401.70 at the Agricultural Ecology Station, both in the Metropolitan Region. The parameter "a" ranged from 0.08 at Vila Mambucaba station (South Fluminense) to 0.23 at the Alcalis (Baixadas Litorâneas) station. The parameter "b" ranged from 7.22 at Guaíba island station (Metropolitan Region) to 254.77 at Rio Mole station (Baixadas Litorâneas) and parameter "c" ranged from 0.84 at Fazenda Santo Amaro station (Metropolitan Region) to 1.25 at the Carmo station (Centro Fluminense). The highest values of rainfall ratios of different durations obtained for the localities of Rio de Janeiro were observed in the regions of Baixadas Litorâneas, Noroeste Fluminense and South Fluminense, due to the mechanisms of rainfall formation in these regions, such as greater availability of humidity and radiation.

Key words: Rainfall data discretization. Daily rainfall. IDF relationship.

2.3 INTRODUÇÃO

A exposição da superfície terrestre ao potencial erosivo das chuvas é um dos fatores-chaves que favorece a erosão hídrica. Embora a erosão hídrica seja a principal causa da degradação das terras no mundo, os padrões globais da erosividade ainda são pouco conhecidos e as estimativas possuem muitas incertezas (Panagos et al., 2017). A escassez de dados pluviográficos de alta resolução temporal é a principal limitação para a quantificação da erosividade (Montebeller et al., 2007; Jebari et al., 2012; Machado et al., 2013; Oliveira et al., 2012; Panagos et al., 2017). O potencial erosivo está relacionado às características físicas das chuvas, como altura precipitada, intensidade máxima em 30 min, diâmetro e velocidade final das gotas e energia cinética (Wischmeier e Smith, 1978). Contudo, informações sobre essas variáveis são escassas e de difícil obtenção, pois são extraídas de dados pluviográficos de alta resolução temporal e de medição contínua por longo período (Carvalho et al., 2005; Santos et al., 2009; Back et al., 2012; Eltz et al., 2013; Oliveira et al., 2012; Mello et al., 2013).

A falta de informações com resolução espaço-temporal adequada ou a dificuldade em obtê-las impede a estimativa dos índices de erosividade e consequentemente a caracterização do potencial erosivo em diversas localidades. Logo, o uso de metodologias para estimar a erosividade a partir de dados de fácil obtenção, como a média mensal ou anual de chuvas, possibilita calcular índices erosivos para suporte à tomada de decisão e sugestão de práticas conservacionistas do solo e da água (Carvalho et al., 2005; Montebeller et al., 2007; Lee e Heo, 2011; Oliveira et al., 2012). Dentre elas, o índice modificado de Fournier ou coeficiente de chuva (R_c) é muito utilizado e relaciona o índice de erosividade EI_{30} com dados pluviométricos para obtenção do fator R da USLE/RUSLE (Silva, 2004; Oliveira et al., 2012; Mello et al., 2013).

Do mesmo modo, tem-se empregado as equações de regressão para estimar os índices de erosividade. Contudo, em diversas localidades não são feitas medições do total de chuvas precipitado e, portanto, não existem séries de dados pluviométricos para aplicar às equações até então desenvolvidas (Trindade et al., 2016). Nessas localidades, os valores de erosividade podem ser estimados por meio da aplicação de métodos de interpolação baseados nos valores amostrados, como o método do inverso do quadrado da distância, o método das isoietas e os métodos geoestatísticos (Montebeller et al., 2007; Trindade et al., 2016). Outra alternativa para a estimativa da erosividade é a desagregação de chuvas diárias por meio de diversas metodologias como a desagregação em cascata (Olsson e Berndtsson, 1998; Olsson, 2008; Jebari et al., 2012; Müller e Haberlandt, 2018).

No Brasil, raramente são encontradas séries com mais de 10 anos de observações (Montebeller et al., 2007; Oliveira et al., 2012). Para suprir a escassez de dados pluviográficos no Brasil, as relações entre índices de erosividade e o coeficiente de chuva são muito utilizadas (Carvalho et al., 2005; Damé et al., 2008; Santos et al., 2009; Oliveira et al., 2012; Mello et al., 2013; Back et al., 2012; Trindade et al., 2016). Além do conhecimento do potencial erosivo, o conhecimento do período de retorno e da intensidade máxima das chuvas intensas é fundamental para o dimensionamento de obras hidráulicas para prevenção de desastres e para drenagem superficial. Para isso, é necessário conhecer as relações IDF da chuva a ser utilizada no projeto (Oliveira et al., 2008; Back et al., 2012; Silva e Oliveira, 2017), sendo os métodos das isozonas e da desagregação da chuva de 24 h as mais utilizadas (Oliveira et al., 2005; Back et al., 2012; Silva e Oliveira, 2017).

A desagregação da chuva de 1 dia, desenvolvida por Pfafstetter (1957) tornou-se mais conhecida por seu uso no Departamento de Água e Energia Elétrica da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (DAEE-CETESB, 1980) (Oliveira et al., 2005; Back et al., 2012; Silva e Oliveira, 2017) e se caracteriza por obter lâminas precipitadas chuvas intensas de curta duração a partir do produto entre o total diário precipitado e os coeficientes

de desagregação. Esses coeficientes foram obtidos a partir de curvas IDF de 98 localidades do Brasil e a maioria das séries de chuva possuíam 10 anos de registros, sendo-os extrapolados para diversas localidades brasileiras (Mello et al., 2003; Oliveira et al., 2005, 2008; Back et al., 2012). No entanto, os mesmos têm sido utilizados em regiões que possuem distintas características fisiográficas, o que torna importante estimar esses coeficientes para a localidade de interesse em função dos tipos de chuva predominantes em cada região, especialmente onde as características de formação das chuvas possuem alta variabilidade, como é o caso do Estado do Rio de Janeiro.

A hipótese do presente estudo é que os coeficientes de desagregação de chuvas e as relações IDF variam em função de cada localidade. Assim, os objetivos foram obter os coeficientes de desagregação e as equações de chuva intensa para distintas localidades do Estado do Rio de Janeiro.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Dados Pluviográficos

O estudo foi desenvolvido a partir de dados pluviográficos de 34 estações meteorológicas do Estado do Rio de Janeiro, pertencentes à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ao Serviços e Eletricidade S/A (LIGHT) e à Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA, atual Instituto Estadual do Ambiente - INEA) (Tabela 1). Os dados disponíveis são do período de 1974 a 1996 e não há dados em período comum para todas as localidades estudadas.

Tabela 1. Estações pluviográficas estudadas e suas respectivas localizações geográficas

Região*	Código	Estação	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Série histórica (anos)
I	02242067	Álcalis	Cabo Frio	-22,98	-42,03	7,4	1974-1980
	02242101	Rio Mole	Saquarema	-21,61	-42,08	10	1980-1987
II	02142053	Carmo	Carmo	-22,80	-43,68	341	1974-1980
	02242074	Cordeiro	Cordeiro	-22,92	-43,42	485	1974-1980
	02142362	Ilha dos Pombos	Carmo	-21,20	-41,88	146	1979-1989; 1991
	02242070	Nova Friburgo	Nova Friburgo	-22,48	-42,99	857	1974-1978; 1980
	02142051	Sta M ^a Madalena	Sta M ^a Madalena	-23,02	-44,51	620	1974-1979
III	02242090	Andorinhas	Magé	-22,54	-43,06	80	1977-1996
	02242095	Cachoeiras Macacu	C. de Macacu	-21,75	-41,33	40	1979-1993
	02243239	Capela Mayrink	Rio de Janeiro	-22,03	-42,36	460	1980-1995
	02243186	Ecologia Agrícola	Seropédica	-22,58	-42,94	33	1974-1980
	02243083	Eletróbrás	Rio de Janeiro	-22,42	-42,80	40	1979-1995
	02242094	Escola União	Magé	-22,41	-42,72	10	1977-1995
	02243238	Faz. Coqueiro	Cach. de Macacu	-21,84	-42,57	140	1978-1993
	02243235	Faz. Sto Amaro	Cach. de Macacu	-23,00	-44,03	260	1977-1995
	02344017	Ilha Guaíba	Itaguaí	-22,56	-42,69	64	1974-1980
	02242097	Japuíba	Cach.de Macacu	-22,35	-41,80	50	1976-1995
	02242100	Sambaetiba	Itaboraí	-22,73	-43,30	10	1977-1995
	02243157	São Bento	Rio de Janeiro	-22,45	-42,93	6	1974-1980
	02242091	Tanguá	Rio Bonito	-22,55	-43,30	40	1980-1995
02243151	Vassouras	Vassouras	-23,01	-44,31	437	1974-1980	
02242096	Xerém	Duque de Caxias	-21,75	-41,33	144	1977-1995	

V	02141044	Campos	Campos	-21,91	-42,61	11	1974-1980
	02241020	Macaé	Macaé	-22,26	-43,38	4	1974-1980
	02243251	Lajes	Piraí	-22,08	-43,55	462	
	02243008	Manuel Duarte	Rio das Flores	-22,63	-43,90	400	1981;1983-1984; 1990-1994
	02243165	Piraí	Piraí	-22,48	-44,46	388	1974-1980
	02244092	Resende	Resende	-22,63	-42,80	440	1974-1980
VI	02243205	Santa Cecília	Barra do Piraí	-22,23	-44,06	371	1963-1964; 1973-1976; 1982, 1986, 1988; 1990-1993; 1996
	02244033	Sta Isabel Rio Preto	Valença	-22,75	-44,11	567	1990-1996
	02244103	Tocos	Rio Claro	-22,54	-43,06	479	1981-1998; 1993-1999
	02344016	Vila Mambucaba	Angra dos Reis	-22,47	-42,65	6	1991-1996

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

A distribuição espacial das estações pluviográficas no Estado do Rio de Janeiro é apresentada na Figura 1.

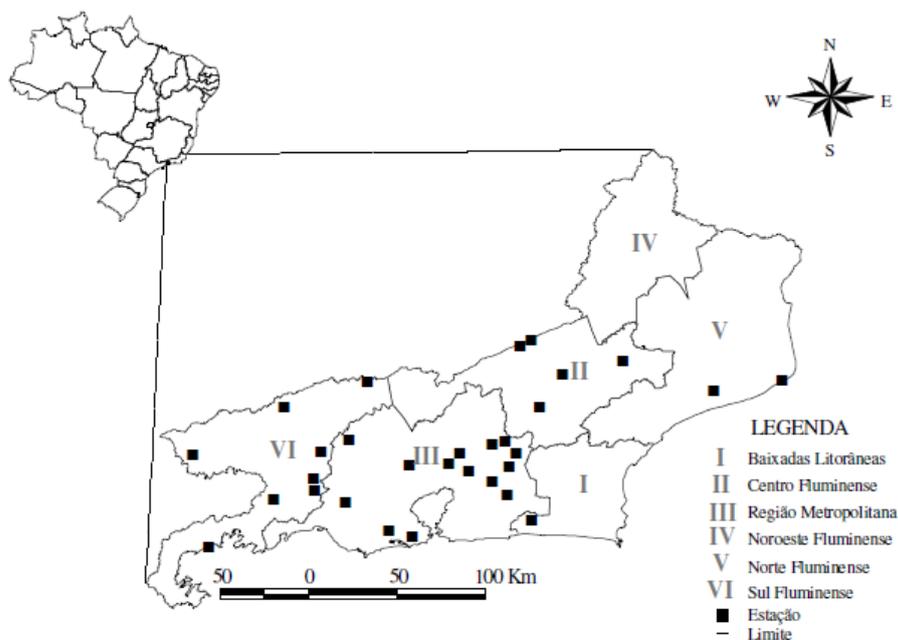


Figura 1. Localização das estações pluviográficas em base georreferenciada do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Machado (2013).

2.4.2 Obtenção das Relações Entre Chuvas de Distintas Durações

Os pluviogramas diários possuíam amplitude de 10 mm de altura precipitada e menor escala de leitura de 0,1 mm e a duração de 24 horas. Esses pluviogramas foram digitalizados em mesa digitalizadora e processados no programa HydroGraph 1.02 (elaborado pelo Grupo

de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa). A partir dos dados digitalizados foram obtidos com uso do programa computacional CHUVEROS (elaborado pelo Professor Eleamar Antonino Cassol; não publicado), para cada evento de chuva, a altura e duração precipitada e as intensidades máximas de precipitação nos tempos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 135, 150, 165, 180, 210 e 240 min. Esse programa também possibilita calcular outras variáveis, como a energia cinética, a intensidade máxima em 30 min e índices de erosividade. A intensidade máxima de precipitação é calculada verificando-se a lâmina total da chuva entre os tempos t e $t+5$ min, ou seja, entre 0 e 5 min, entre 1-6 min, entre 2-7 min e, assim sucessivamente. O CHUVEROS identifica o intervalo de 5 min no qual ocorreu a maior lâmina de chuva e retorna a intensidade máxima (mm h^{-1}) em 5 min associada à referida lâmina em 5 min. O mesmo procedimento é feito para os demais períodos de tempo considerados.

As lâminas de precipitação foram obtidas pela multiplicação das intensidades máximas de precipitação (mm h^{-1}) obtidas no CHUVEROS pelos respectivos tempos (min) e o resultado desse produto foi dividido por 60 para conversão da lâmina precipitada em mm. Finalmente os coeficientes de desagregação ou relações entre chuvas de diferentes durações foram calculados por meio da divisão das lâminas de dois tempos de interesse. Em outras palavras, neste estudo foram calculados coeficientes de desagregação para os seguintes tempos (min/min): 5/30; 10/30; 15/30; 20/30; 25/30; 30/60; 35/60; 40/60; 45/60; 50/60; 55/60; 60/120; 70/120; 80/120; 90/120; 100/120; 110/120; 120/240; 135/240; 150/240; 165/240; 180/240; 210/240.

2.4.3 Frequência de Ocorrência e Período de Retorno

Por meio de planilha eletrônica, os valores dos coeficientes de desagregação foram ordenados em ordem crescente e associados a um valor de ordem. Assim, a frequência (f) foi calculada pelo método de Kimbal (equação 1) (Villela e Matos, 1975):

$$f = \frac{m}{N+1} \quad (1)$$

em que:

m - número de ordem do coeficiente de desagregação; e

N - número de anos da extensão da série parcial de dados.

Em seguida, fez-se a padronização dos valores dos coeficientes de desagregação utilizando-se a equação 2:

$$Z = \frac{C - C_m}{DP} \quad (2)$$

em que:

Z - valor padronizado do coeficiente de desagregação;

C - coeficiente de desagregação;

C_m - média dos coeficientes de desagregação; e,

DP - desvio-padrão dos coeficientes de desagregação.

Os valores de frequência teórica foram estimados por meio da função Log-normal, utilizando-se planilha eletrônica do Excel. Essa função foi escolhida, por ter sido utilizada em estudos dessa natureza anteriormente e possuir distribuição descrita como típica de eventos hidrológicos (Oliveira et al., 2005; Oliveira et al., 2008; Evangelista et al., 2006; Machado et al., 2013).

2.4.4 Avaliação da Homogeneidade dos Coeficientes de Desagregação

A aderência dos coeficientes de desagregação à distribuição Gumbel foi verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de 5% de probabilidade, conforme Evangelista et al. (2006), Oliveira et al. (2008) e Machado et al. (2013). Para cada valor de ordem foi estimado o desvio entre as frequências calculado pela Equação 1 e a frequência teórica obtida pela distribuição de probabilidade Log-Normal. Com isso, verificou-se que em todas as localidades estudadas, a distribuição Gumbel ajustou-se adequadamente aos coeficientes de desagregação de chuvas. Após a constatação da aderência à função Gumbel e objetivando a comparação entre diferentes localidades com valores da literatura, foram estimados ainda, para cada estação, os coeficientes de desagregação de chuva relacionados aos períodos de retorno (TR) de 5, 10, 25, 50, 75 e 100 anos. A frequência de excedência foi estimada pela Equação 3:

$$f = 1 - \frac{1}{TR} \quad (3)$$

A variável Z foi estimada pelo inverso da função normal usando planilha eletrônica no software Excel e os coeficientes de desagregação calculados conforme Equação 4:

$$C_d = C_m + Z \times DP \quad (4)$$

em que:

C_d - coeficiente de desagregação associado ao período de retorno;

C_m - média dos coeficientes de desagregação; e

DP - desvio-padrão dos coeficientes de desagregação.

2.4.5 Obtenção das Relações Intensidade-Duração-Frequência

Os valores de intensidade máxima de precipitação para cada duração, nas diferentes localidades, obtidos no programa CHUVEROS foram organizados em ordem decrescente e associados a um valor de ordem. Posteriormente foram submetidos à análise de distribuição de frequência. A probabilidade de ocorrência de determinada chuva ou a superação dessa foi obtida por meio da distribuição de probabilidade de Gumbel (Equação 5) (Naghetini e Pinto, 2007).

$$F_{teórica} = 1 - e^{-e^{-\gamma TR}} \quad (5)$$

em que:

$F_{teórica}$ - frequência acumulada de um valor extremo, maior ou igual à magnitude de determinado evento;

γ_{TR} - variável reduzida da distribuição de Gumbel, obtida pela distribuição de frequência de Chow (Equações 6 e 7) (Naghetini e Pinto, 2007).

$$\gamma_{TR} = \left(\frac{\delta_{TR+0,45}}{0,78} \right) \quad (6)$$

$$\delta_{TR} = \left(\frac{x-\mu}{DP} \right) \quad (7)$$

em que:

δ_{TR} - fator de frequência;

x - valor extremo de intensidade da série histórica (mm h^{-1});

μ - média dos valores extremos; e,

DP - desvio padrão.

Após a verificação da aderência das frequências observadas em relação às frequências teóricas, as quais foram obtidas pela distribuição de Gumbel, as intensidades de precipitação médias máximas (i_m), de cada duração, foram estimadas para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 75 e 100 anos. Assim, explicitou-se a intensidade média máxima da distribuição de Gumbel visando sua obtenção em função do período de retorno (Equação 8).

$$i_m = a - b \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{TR}{TR-1} \right) \right] \quad (8)$$

em que:

i_m - intensidade média máxima (mm h^{-1}); e,

a e b - estimadores da distribuição de Gumbel, obtidos pelo método dos momentos (equações 9 e 10).

$$a = E(h) - 0,557b \quad (9)$$

$$b = \frac{\sqrt{\text{VAR}(h)}}{1,645} \quad (10)$$

em que:

$E(h)$ - valor esperado estimado por meio da média das máximas intensidades de precipitação médias; e,

$\text{VAR}(h)$ - variância das médias das intensidades de precipitação máximas anuais.

Finalmente, para cada série de duração de chuva foram estimados os valores das médias de intensidades de precipitação máximas associadas aos distintos períodos de retorno (5, 10, 25, 50, 75 e 100 anos). Com os valores estimados de chuvas máximas para diferentes durações e períodos de retorno foram ajustados os parâmetros k , a , b e c , utilizados nas equações que expressam as relações IDF (Equação 11), para cada estação, empregando-se o método de otimização de minimização da soma dos quadrados dos desvios entre os valores observados e estimados (Naghetini & Pinto, 2007). Para isso, utilizou-se a técnica do gradiente reduzido generalizado (GRG), ferramenta implementada no Solver do software Excel.

$$im = \frac{kTR^a}{(t+b)^c} \quad (11)$$

em que:

k, a, b e c - parâmetros de cada localidade ajustados pelo método dos mínimos quadrados; e,

t - duração da chuva (min).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Relações Entre Chuvas de Diferentes Durações

Os valores médios das relações entre chuvas de diferentes durações estão apresentados nas Tabelas 2 a 6, para as diferentes regiões do Estado. De maneira geral, as relações médias obtidas no presente estudo são maiores que algumas disponibilizadas na literatura (Cetesb, 1986; Silveira, 2000; Oliveira et al., 2008; Back et al., 2012). Na mesorregião das Baixadas Litorâneas, os coeficientes de desagregação variaram de $0,54\pm 0,11$ a $1,08\pm 0,05$ para as relações de 5 min/30 min e 210 min/240 min (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a região Baixadas Litorâneas no Estado do Rio de Janeiro

Relação	Região I - Baixadas Litorâneas		
	Média±Desvio Padrão	Mínimo±Desvio Padrão	Máximo±Desvio Padrão
5 min/30 min	0,54±0,11	0,46±0,11	0,61±0,11
10 min/30 min	0,70±0,06	0,66±0,06	0,75±0,06
15 min/30 min	0,79±0,05	0,76±0,05	0,83±0,05
20 min/30 min	0,89±0,07	0,85±0,07	0,94±0,07
25 min/30 min	1,00±0,06	0,96±0,06	1,04±0,06
30 min/60 min	0,96±0,03	0,94±0,03	0,98±0,03
35 min/60 min	1,00±0,00	1,00±0,00	1,00±0,00
40 min/60 min	1,02±0,01	1,01±0,01	1,02±0,01
45 min/60 min	1,02±0,03	1,01±0,03	1,04±0,03
50 min/60 min	1,02±0,02	1,00±0,02	1,03±0,02
55 min/60 min	1,02±0,00	1,01±0,00	1,02±0,00
60 min/120 min	0,96±0,02	0,94±0,02	0,97±0,02
70 min/120 min	0,99±0,02	1,00±0,02	0,97±0,02
80 min/120 min	1,01±0,03	0,99±0,03	1,03±0,03
90 min/120 min	1,02±0,01	1,01±0,01	1,03±0,01
100 min/120 min	1,02±0,02	1,00±0,02	1,03±0,02
110 min/120 min	1,02±0,01	1,01±0,01	1,03±0,01
120 min/240 min	1,02±0,02	1,00±0,02	1,03±0,02
135 min/240 min	1,02±0,02	1,01±0,02	1,03±0,02
150 min/240 min	1,03±0,02	1,01±0,02	1,04±0,02
165 min/240 min	1,03±0,03	1,01±0,03	1,05±0,03
180 min/240 min	1,03±0,03	1,01±0,03	1,06±0,03
210 min/240 min	1,04±0,05	1,01±0,05	1,08±0,05

No presente estudo, o valor obtido para a relação entre chuvas 5 min/30 min na região Baixadas Litorâneas é maior que aqueles sugeridos pela Cetesb (1986) (0,34) e por Back et al. (2012) (0,35). Da mesma maneira, Pfafstetter (1957) sugeriu a utilização do coeficiente de desagregação médio para o Brasil, para a relação entre chuvas 30 min/60 min de 0,74, o qual também foi inferior ao obtido na região das Baixadas Litorâneas (Tabela 2). Essas diferenças estão relacionadas principalmente aos mecanismos de formação das chuvas nas localidades estudadas, e também pelo tamanho das séries de dados de chuvas disponíveis em cada região ou estudo.

Na mesorregião Centro Fluminense, os coeficientes de desagregação variaram de $0,28\pm 0,04$ a $1,08\pm 0,05$ para as relações de 5 min/30 min e 120 min/240 min (Tabela 3). De

maneira geral, as relações entre durações de chuvas calculadas no presente estudo são maiores, conforme se aumenta a duração das chuvas.

Tabela 3. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a Região Centro Fluminense, no Estado do Rio de Janeiro

Região II - Centro Fluminense			
Relação	Média±Desvio	Mínimo±Desvio	Máximo±Desvio
	Padrão	Padrão	Padrão
5 min/30 min	0,33±0,04	0,28±0,04	0,39±0,04
10 min/30 min	0,62±0,07	0,56±0,07	0,74±0,07
15 min/30 min	0,78±0,04	0,71±0,04	0,83±0,04
20 min/30 min	0,89±0,06	0,85±0,06	0,99±0,06
25 min/30 min	0,98±0,03	0,94±0,03	1,03±0,03
30 min/60 min	0,97±0,04	0,93±0,04	1,03±0,04
35 min/60 min	0,99±0,03	0,96±0,03	1,04±0,03
40 min/60 min	1,01±0,03	0,99±0,03	1,06±0,03
45 min/60 min	1,01±0,02	0,99±0,02	1,05±0,02
50 min/60 min	1,02±0,02	1,01±0,02	1,05±0,02
55 min/60 min	1,02±0,01	1,01±0,01	1,03±0,01
60 min/120 min	0,99±0,07	0,90±0,07	1,06±0,07
70 min/120 min	1,01±0,05	0,93±0,05	1,07±0,05
80 min/120 min	1,02±0,05	0,95±0,05	1,07±0,05
90 min/120 min	1,04±0,04	0,99±0,04	1,08±0,04
100 min/120 min	1,03±0,03	0,99±0,03	1,06±0,03
110 min/120 min	1,02±0,01	1,01±0,01	1,03±0,01
120 min/240 min	1,02±0,05	0,96±0,05	1,08±0,05
135 min/240 min	1,04±0,04	0,98±0,04	1,08±0,04
150 min/240 min	1,05±0,02	1,01±0,02	1,07±0,02
165 min/240 min	1,05±0,02	1,02±0,02	1,07±0,02
180 min/240 min	1,04±0,02	1,03±0,02	1,07±0,02
210 min/240 min	1,03±0,02	1,00±0,02	1,06±0,02

Na mesorregião Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, os coeficientes de desagregação variaram de 0,27±0,14 a 1,11±0,04 para as relações de 5 min/30 min e 120 min/240 min, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a Região Metropolitana, no Estado do Rio de Janeiro

Região III - Região Metropolitana			
Relação	Média±Desvio	Mínimo±Desvio	Máximo±Desvio
	Padrão	Padrão	Padrão
5 min/30 min	0,43±0,14	0,27±0,14	0,86±0,14
10 min/30 min	0,62±0,12	0,48±0,12	0,91±0,12
15 min/30 min	0,75±0,10	0,62±0,10	0,99±0,10
20 min/30 min	0,89±0,06	0,81±0,06	1,03±0,06
25 min/30 min	0,96±0,04	0,90±0,04	1,03±0,04
30 min/60 min	0,89±0,06	0,78±0,06	1,04±0,06
35 min/60 min	0,94±0,05	0,85±0,05	1,03±0,05

40 min/60 min	0,97±0,04	0,91±0,04	1,03±0,04
45 min/60 min	0,99±0,03	0,94±0,03	1,04±0,03
50 min/60 min	1,00±0,02	0,95±0,02	1,03±0,02
55 min/60 min	1,00±0,01	0,97±0,01	1,02±0,01
60 min/120 min	0,98±0,06	0,87±0,06	1,06±0,06
70 min/120 min	1,00±0,05	0,90±0,05	1,07±0,05
80 min/120 min	1,02±0,03	0,96±0,03	1,06±0,03
90 min/120 min	1,03±0,02	1,00±0,02	1,06±0,02
100 min/120 min	1,03±0,02	1,01±0,02	1,05±0,02
110 min/120 min	1,02±0,01	1,01±0,01	1,03±0,01
120 min/240 min	1,03±0,04	0,97±0,04	1,11±0,04
135 min/240 min	1,03±0,03	0,98±0,03	1,09±0,03
150 min/240 min	1,04±0,03	0,99±0,03	1,09±0,03
165 min/240 min	1,04±0,03	0,99±0,03	1,10±0,03
180 min/240 min	1,04±0,03	0,99±0,03	1,11±0,03
210 min/240 min	1,02±0,01	1,00±0,01	1,06±0,01

Na mesorregião Norte Fluminense, os coeficientes de desagregação variaram de 0,26 a 1,09 para as relações de 5 min/30 min e 180 min/240 min, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a Região Norte Fluminense, no Estado do Rio de Janeiro

Relação	Região V - Norte Fluminense		
	Média±Desvio Padrão	Mínimo±Desvio Padrão	Máximo±Desvio Padrão
5 min/30 min	0,35±0,12	0,26±0,12	0,43±0,12
10 min/30 min	0,54±0,06	0,50±0,06	0,58±0,06
15 min/30 min	0,73±0,04	0,70±0,04	0,76±0,04
20 min/30 min	0,94±0,09	0,87±0,09	1,01±0,09
25 min/30 min	1,00±0,04	0,97±0,04	1,03±0,04
30 min/60 min	0,94±0,07	0,89±0,07	0,99±0,07
35 min/60 min	0,97±0,03	0,95±0,03	1,00±0,03
40 min/60 min	1,01±0,0	1,00±0,0	1,01±0,0
45 min/60 min	1,01±0,02	1,00±0,02	1,03±0,02
50 min/60 min	1,01±0,01	1,01±0,01	1,02±0,01
55 min/60 min	1,01±0,0	1,01±0,0	1,01±0,0
60 min/120 min	0,98±0,03	0,96±0,03	1,00±0,03
70 min/120 min	1,02±0,01	1,02±0,01	1,03±0,01
80 min/120 min	1,03±0,01	1,03±0,01	1,04±0,01
90 min/120 min	1,03±0,01	1,02±0,01	1,03±0,01
100 min/120 min	1,01±0,02	1,00±0,02	1,03±0,02
110 min/120 min	1,01±0,02	1,00±0,02	1,02±0,02
120 min/240 min	0,96±0,07	0,90±0,07	1,01±0,07
135 min/240 min	1,00±0,08	0,94±0,08	1,06±0,08
150 min/240 min	1,04±0,06	1,00±0,06	1,08±0,06
165 min/240 min	1,06±0,03	1,04±0,03	1,08±0,03
180 min/240 min	1,08±0,01	1,07±0,01	1,09±0,01
210 min/240 min	1,06±0,01	1,05±0,01	1,06±0,01

Na mesorregião Sul Fluminense, os coeficientes de desagregação variaram de $0,33\pm 0,03$ a $1,06\pm 0,02$ para as relações de 5 min/30 min e 210 min/240 min, respectivamente (Tabela 6). Para essa região, os valores das relações 5 min/30 min, 10 min/30 min, 15 min/30 min e 30 min/60 min são maiores que aqueles obtidos por Back et al. (2012) e Cetesb (1986).

Tabela 6. Coeficientes de desagregação médios, mínimos e máximos de chuvas de distintas durações para a Região Sul Fluminense no Estado do Rio de Janeiro

Relação	Região VI - Sul Fluminense		
	Média±Desvio Padrão	Mínimo±Desvio Padrão	Máximo±Desvio Padrão
5 min/30 min	0,38±0,03	0,33±0,03	0,44±0,03
10 min/30 min	0,60±0,06	0,54±0,06	0,69±0,06
15 min/30 min	0,74±0,06	0,67±0,06	0,83±0,06
20 min/30 min	0,87±0,03	0,83±0,03	0,92±0,03
25 min/30 min	0,96±0,03	0,90±0,03	1,00±0,03
30 min/60 min	0,86±0,05	0,80±0,05	0,95±0,05
35 min/60 min	0,93±0,04	0,89±0,04	0,98±0,04
40 min/60 min	0,97±0,03	0,93±0,03	1,01±0,03
45 min/60 min	1,00±0,02	0,96±0,02	1,02±0,02
50 min/60 min	1,01±0,02	0,99±0,02	1,04±0,02
55 min/60 min	1,01±0,01	1,00±0,01	1,02±0,01
60 min/120 min	0,97±0,05	0,90±0,05	1,05±0,05
70 min/120 min	1,00±0,03	0,94±0,03	1,05±0,03
80 min/120 min	1,01±0,03	0,97±0,03	1,04±0,03
90 min/120 min	1,02±0,02	0,98±0,02	1,05±0,02
100 min/120 min	1,02±0,02	1,00±0,02	1,04±0,02
110 min/120 min	1,01±0,01	1,00±0,01	1,02±0,01
120 min/240 min	0,97±0,06	0,90±0,06	1,05±0,06
135 min/240 min	0,98±0,06	0,90±0,06	1,04±0,06
150 min/240 min	1,00±0,05	0,91±0,05	1,05±0,05
165 min/240 min	1,01±0,04	0,95±0,04	1,04±0,04
180 min/240 min	1,01±0,02	0,99±0,02	1,05±0,02
210 min/240 min	1,02±0,02	1,01±0,02	1,06±0,02

O valor médio obtido para a relação 5 min/30 min na Região Norte Fluminense é ligeiramente maior que aquele sugerido por Cetesb (1986) (0,34) e igual ao valor proposto por Back et al. (2012) (0,35). Já o coeficiente de desagregação médio, para a relação entre chuvas 30 min/60 min, sugerido por Pfafstetter (1957) (0,74) é 52% superior aos observados neste estudo para a região Norte Fluminense. Estas diferenças estão relacionadas, sobretudo aos mecanismos de formação das chuvas nas localidades estudadas, além da consistência e do tamanho das séries de dados de chuvas disponíveis em cada região. Embora as relações sugeridas pela Cetesb (1986) para desagregação de chuvas diárias sejam aceitas e as mais utilizadas no Brasil, é fundamental que, para cada localidade de interesse, essas relações entre durações de chuvas sejam estimadas.

De maneira geral, os coeficientes de desagregação aumentam conforme se aumenta a duração das chuvas nas relações avaliadas. O valor obtido para as relações entre diferentes durações de chuvas em todas as regiões do Estado do Rio de Janeiro é maior que aquele sugerido pela Cetesb (1986) e por Back et al. (2012), considerando as relações semelhantes. Essas diferenças justificam-se pelos mecanismos de formação das chuvas nas localidades

estudadas, além da fisiografia do Rio de Janeiro, e da consistência e do tamanho das séries de dados de chuvas disponíveis em cada região.

Com relação aos mecanismos de formação de chuvas, nenhuma região no Brasil possui regime e distribuição espacial tão diferenciada quanto a Região Sudeste. Davis e Naghettini (2000) afirmam que no Estado do Rio de Janeiro, a posição latitudinal e a localização na borda do oceano, possibilitam alta radiação solar e, associado a outros fatores, provocam alta pluviosidade anual.

Em razão do grande número de tabelas, optou-se, por apresentar os coeficientes de desagregação associados aos períodos de retorno estimados para as diferentes localidades do Rio de Janeiro na forma de anexos complementares (ANEXOS 1 a 23). Também foram estimados os coeficientes para durações não reportadas na literatura, e que podem ser sugeridos para uso em dimensionamento de projetos hidráulicos de prevenção a desastres naturais ocasionados por chuvas intensas nas localidades de Estado do Rio de Janeiro, tendo em vista a predominância desse tipo de precipitação.

A distribuição e o regime das chuvas nas regiões do Estado do Rio de Janeiro, dependem de fatores estáticos como a localização geográfica e a topografia do Estado e, dinâmicos, massas de ar, segundo Davis e Naghettini (200). Sobre o Sudeste do Brasil predomina a massa de ar Tropical Atlântica, que possui elevada temperatura, por causa da radiação solar e, alta umidade, devido à intensa evaporação de água do mar. Assim, as regiões Metropolitana, Sul Fluminense e Centro Fluminense recebem maior umidade proveniente do mar e, em contato com as barreiras orográficas (serras, morros, montanhas), conseqüentemente nessas regiões ocorre maior volume de chuvas. De outro modo, nas regiões das Baixadas Litorâneas, Norte Fluminense e Noroeste Fluminense, menores volumes de chuvas são constatados devido ao efeito orográfico das Serras do Mar e da Mantiqueira, que impedem que as massas de ar úmido se entrem no continente. Geralmente o maior volume de chuvas ocorre próximo ao mar e o ar que se desloca em direção ao continente é mais seco, o que proporciona menores volumes de chuva nessas regiões do Estado do Rio de Janeiro.

2.5.2 Parâmetros das Relações Intensidade-Duração-Frequência

Pode-se observar que os parâmetros das relações IDF variam entre as localidades do Estado do Rio de Janeiro, entretanto a variabilidade observada de parte dos coeficientes não é alta (Tabela 7). O parâmetro “k” variou de 2106,98 na estação Ilha Guaíba (Região III - Região Metropolitana) a 8401,70 na estação Ecologia Agrícola (Região III - Região Metropolitana), com média±desvio de 7625,64±1884,89. Contudo, apesar do elevado desvio observado, não houve um gradiente expressivo do parâmetro k em parte majoritária das localidades estudadas. O parâmetro “a” variou de 0,08 na estação Vila Mambucaba (Região VI - Sul Fluminense) a 0,23 na estação Álcalis (Região I - Baixadas Litorâneas), com média±desvio de 0,15±0,03. O parâmetro “b” variou de 7,22 na estação Ilha Guaíba (Região III - Região Metropolitana) a 254,77 na estação Rio Mole (Região I - Baixadas Litorâneas), com média±desvio de 71,80±55,82. Para o parâmetro “c” a variação foi de 0,84 na estação Fazenda Santo Amaro (Região III - Região Metropolitana) a 1,25 na estação Carmo (Região II - Centro Fluminense), com média±desvio de 1,06±0,08.

Embora a variabilidade de alguns dos coeficientes não seja alta, as intensidades das chuvas possuem alta variabilidade nas diferentes localidades do Rio de Janeiro devido aos mecanismos de formação das precipitações. Essa alta variabilidade espacial de distribuição de precipitações no Estado do Rio de Janeiro está representada nas equações de chuvas intensas, especialmente pelos coeficientes b e k, conforme constatado nesse estudo. A variabilidade detectada nos parâmetros b e k, comprovam que para o adequado planejamento e dimensionamento de obras de drenagem urbana e prevenção de desastres naturais torna-se

necessária a estimativa das relações IDF para a localidade de interesse. Conforme descrito por Santos et al. (2009) e Santos et al. (2010) essa variabilidade local, quando não considerada, aumenta o risco de falha em dimensionamento e os custos dos projetos/obras hidráulicas de uso ou controle de recursos hídricos.

Tabela 7. Coeficientes k, a, b e c das equações de chuvas intensas ajustadas para várias localidades do Estado do Rio de Janeiro

Região*	Código	Estação	k	a	b	c	R ²
I	02242067	Álcalis	8401,67	0,23	21,97	1,15	0,9991
	02242101	Rio Mole	8400,24	0,16	254,77	0,95	0,9971
II	02142053	Carmo	8401,41	0,18	26,00	1,25	0,9994
	02242074	Cordeiro	8401,00	0,14	123,02	1,05	0,9981
	02142362	Ilha dos Pombos	8401,28	0,16	62,97	1,10	0,9994
	02242070	Nova Friburgo	8401,28	0,15	62,07	1,10	0,9967
	02142051	Sta M ^a Madalena	8401,23	0,13	68,53	1,09	0,9986
	02242090	Andorinhas	8401,26	0,16	76,20	1,02	0,9992
III	02242095	Cachoeiras Macacu	8401,26	0,12	71,47	1,06	0,9988
	02243239	Capela Mayrink	8400,78	0,14	86,42	1,01	0,9966
	02243186	Ecologia Agrícola	8401,70	0,21	22,38	1,12	0,9979
	02243083	Eletróbrás	8400,93	0,13	128,07	1,06	0,9972
	02242094	Escola União	8401,30	0,14	47,15	1,08	0,9991
	02243238	Faz. Coqueiro	8401,39	0,18	51,33	1,07	0,9988
	02243235	Faz. Sto Amaro	2118,81	0,11	20,00	0,84	0,9984
	02344017	Ilha Guaíba	2106,98	0,20	7,22	0,85	0,9984
	02242097	Japuíba	4664,25	0,13	20,00	1,02	0,9993
	02242100	Sambaetiba	8401,37	0,11	31,88	1,13	0,9994
	02243157	São Bento	8400,80	0,12	158,47	1,03	0,9986
	02242091	Tanguá	8401,39	0,13	43,21	1,13	0,9997
	02243151	Vassouras	8401,03	0,18	110,08	1,06	0,9966
	02242096	Xerém	8401,40	0,13	67,30	1,12	0,9993
V	02141044	Campos	8400,84	0,14	155,88	1,09	0,9970
	02241020	Macaé	8400,82	0,17	159,76	1,03	0,9976
VI	02243251	Lajes	8400,99	0,19	128,72	1,01	0,9974
	02243008	Manuel Duarte	3853,36	0,18	40,06	1,02	0,9787
	02243165	Piraí	8401,15	0,20	94,49	1,05	0,9970
	02244092	Resende	8401,43	0,17	39,34	1,10	0,9977
	02243205	Santa Cecília	4444,96	0,14	20,00	1,07	0,9983
	02244033	Sta Isabel Rio Preto	8401,50	0,11	31,86	1,14	0,9998
	02244103	Tocos	8401,30	0,16	40,69	1,12	0,9988
	02344016	Vila Mambucaba	8401,46	0,08	26,41	1,08	0,9974

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; IV - Noroeste Fluminense; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Também foi constatada variabilidade nos coeficientes das relações IDF e, conseqüentemente nas intensidades médias máximas estimadas para localidades do Estado de Goiás e o Distrito Federal (Oliveira et al., 2005), para o Estado de Mato Grosso do Sul (Santos et al., 2009), para a região Nordeste (Silva e Oliveira, 2017), para o Estado de Santa Catarina (Back et al., 2012) e para a bacia hidrográfica do Rio Doce em Minas Gerais (Passos, 2017).

De maneira geral, para o Estado do Rio de Janeiro, a intensidade de precipitação das chuvas é maior nas regiões Metropolitana e Noroeste e essas intensidades mais altas estão associadas aos maiores períodos de retorno (50 e 100 anos) (Figura 2). Na região Metropolitana os valores máximos observados maiores que 200 mm h^{-1} ocorreram associados aos períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos. Nessa região foram observados os maiores valores de intensidades de precipitação. Nas regiões Baixadas Litorâneas e Noroeste Fluminense também foram observados valores maiores que 200 mm h^{-1} associados aos períodos de retorno de 50 e 100 anos.

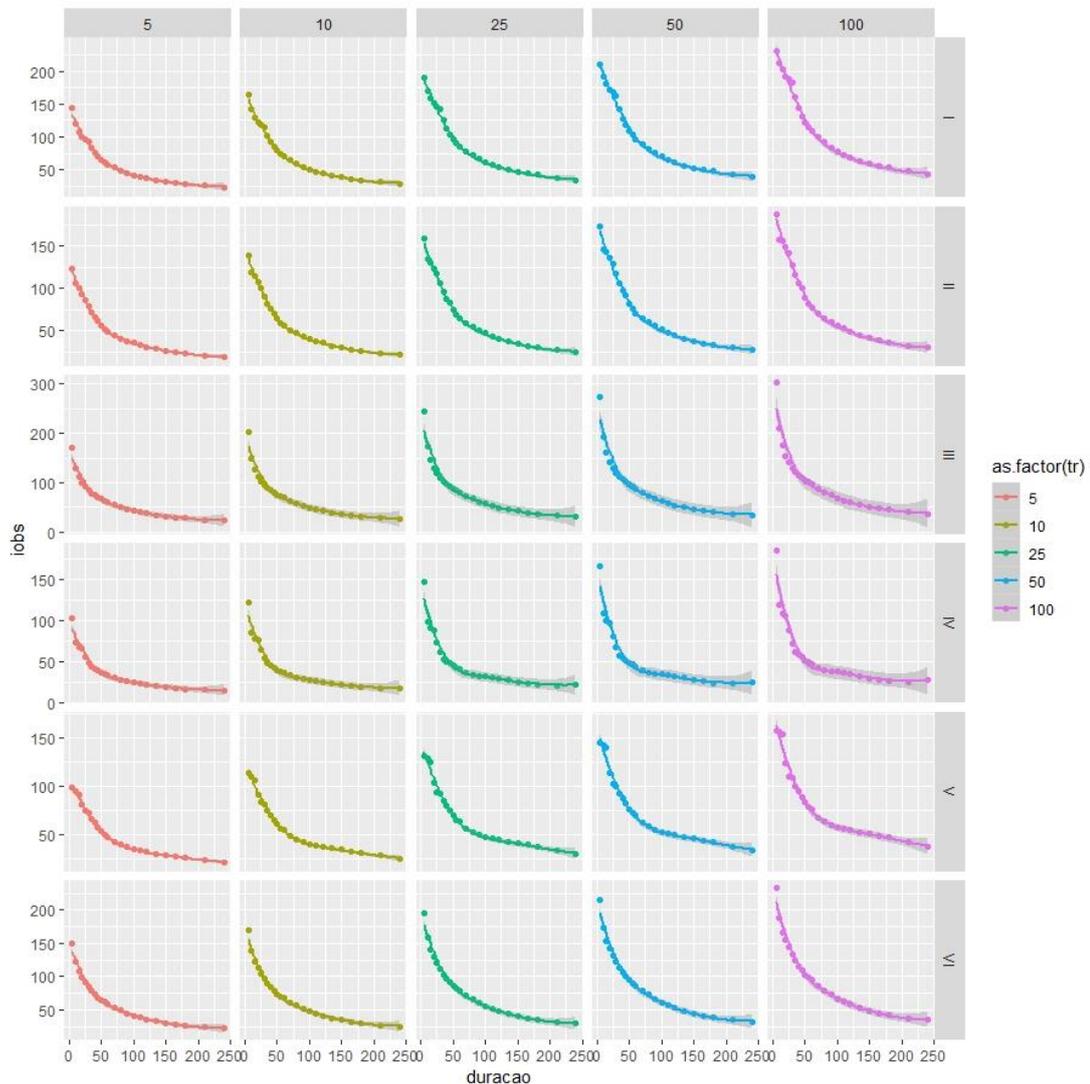


Figura 2. Intensidades de precipitação observada em função do período de retorno e das regiões do Estado do Rio de Janeiro.

A relação entre as intensidades observadas e estimadas pode ser verificada na Figura 3. As intensidades de precipitação estimadas foram semelhantes às intensidades observadas para as distintas localidades no Rio de Janeiro. A relação entre as intensidades aumenta em função das maiores durações das chuvas, principalmente nas regiões da Baixadas Litorâneas (I), Centro Fluminense (II), Metropolitana (III) e Sul Fluminense (VI).

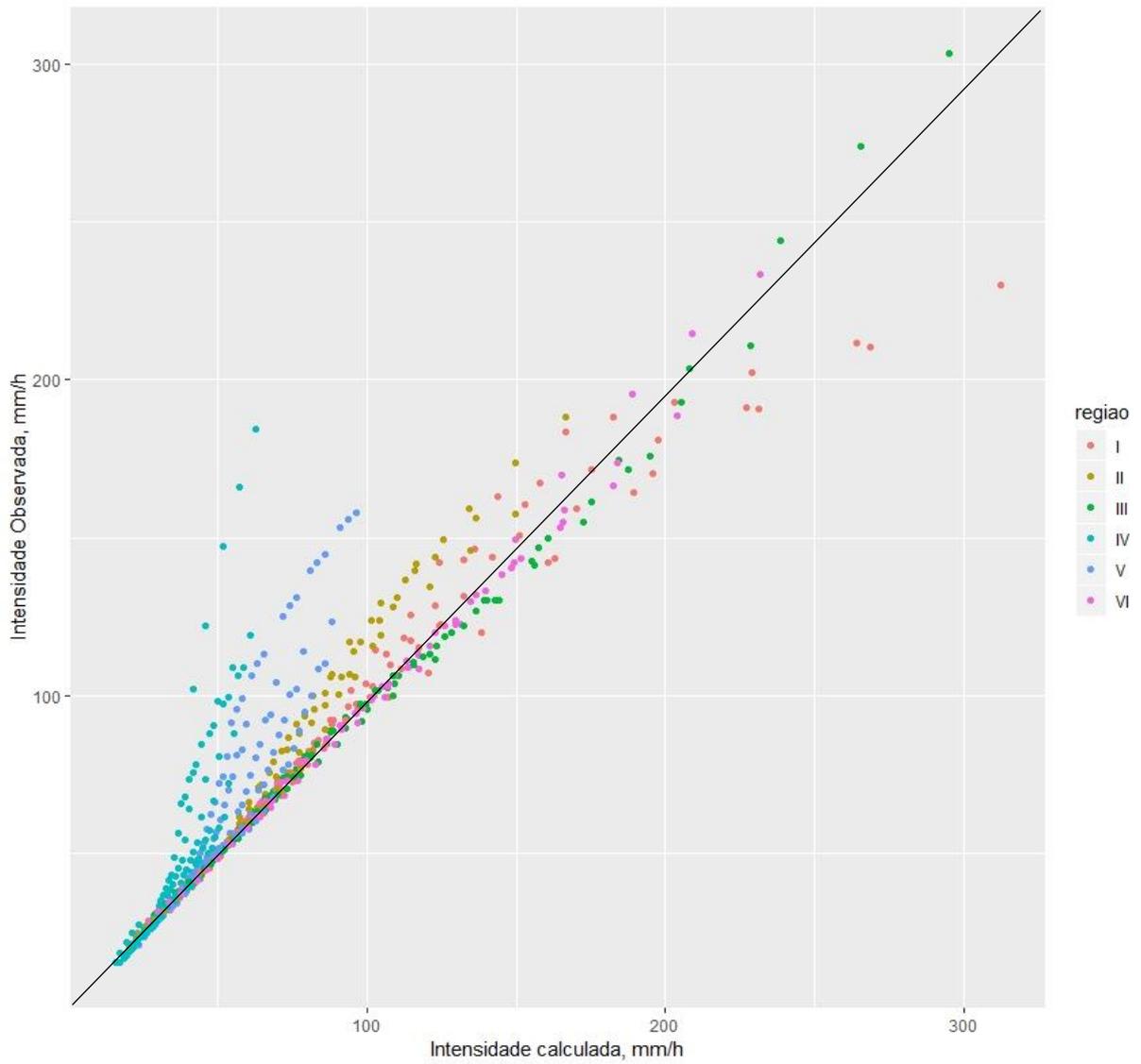


Figura 3. Relação entre intensidades observada e estimada nas distintas localidades do Estado do Rio de Janeiro.

2.6 CONCLUSÕES

As relações entre precipitações de diferentes durações obtidas para as localidades do Rio de Janeiro variam de uma localidade a outra, e são maiores nas mesorregiões do Sul Fluminense, Centro Fluminense e Metropolitana. Adicionalmente, as relações entre durações de chuvas obtidas neste estudo geralmente foram maiores que aquelas constatadas em outras regiões do Brasil, o que reforça a recomendação da não extrapolação das relações entre chuvas de distintas durações para regiões diferentes daquelas para as quais essas relações foram obtidas.

Os parâmetros das equações intensidade-duração-frequência calculados variam entre as localidades no Rio de Janeiro e os maiores coeficientes k , a , b e c foram constatados, respectivamente, nas regiões Metropolitana, Baixadas Litorâneas e no Centro Fluminense.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACK, A.J.; OLIVEIRA, J.L.R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.391-398, 2012.
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.7-14, 2005.
- DAEE-CETESB. Departamento de Água e Energia Elétrica - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo, 1980. 466p.
- DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas-RS. *Revista Engenharia Agrícola*, v.28, p.245-255, 2008.
- DUNKERLEY, D. Intra-event intermittency of rainfall: an analysis of the metrics of rain and no-rain periods. *Hydrological Processes*, v.29, p.3294-3305, 2015.
- ELTZ F.L.F.; CASSOL, E.A.; PASCOTINI, P.B.; AMORIM, R.S.S. Potencial erosivo e características das chuvas de São Gabriel, RS, de 1963 a 1993. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.647-654, 2013.
- EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.G.; BERNARDINO, D.T. Caracterização do padrão das chuvas ocorrentes em Lavras, MG. *Irriga*, v.10, p.306-317, 2006.
- GYASI-AGYEI, Y. Stochastic disaggregation of daily rainfall into one-hour time scale. *Journal of Hydrology*, v.309, p.178-190, 2005.
- JEBARI, S.; BERNDTSSON, R.; OLSSON, J.; BAHRI, A. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. *Journal of Hydrology*, v.436-437, p.102-110, 2012.
- LEE, J.-H.; HEO, J.-H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology*, v.409, p.30-48, 2011.
- MACHADO R.L.; CARVALHO, D.F.; ROUWS, J.R.C.; GOMES, D.P. e EDUARDO, E.N. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.529-547, 2013.
- MELLO, C.R.; SILVA, A.M.; LIMA, J.M.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, M.S. Modelos matemáticos para previsão da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.121-128, 2003.
- MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. *Geoderma*, v. 202-203, p.88-102, 2013.
- MONTEBELLER, C.A.; CEDDIA, M.B.; CARVALHO, D.F.; VIEIRA, S.R.; FRANCO, E.M. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.426-435, 2007.
- MÜLLER, H.; HABERLANDT, U. Temporal rainfall disaggregation using a multiplicative cascade model for spatial application in urban Hydrology. *Journal of Hydrology*, v.556, p.847-864, 2018.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. Hidrologia estatística. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2007. 552p.

- OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.A.; FIOREZE, A.P.; SILVA, M.A.S. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.6, p.620-625, 2008.
- OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; WEHR, T.R. BORGES, L.B.; SARMENTO, P.H.L.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Brasília, DF, v.35, n.1, p.13-18, 2005.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, v.100, p.139-147, 2012.
- OLSSON, J. Development and Matlab Implementation of the Cascade-based Disaggregation Model. Working report, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden, 2008.
- OLSSON, J. Evaluation of a cascade model for temporal rainfall disaggregation. *Hydrology and Earth System Science*, v.2, p.19-30, 1998.
- OLSSON, J.; BERNDTSSON, R. Temporal rainfall disaggregation based on scaling properties. *Water Science Technology*, v.37, p.73-79, 1998.
- PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; YU, B.; KLIK, A.; LIM, K.J; YANG, J.E.; NI, J.; MIAO, C.; CHATTOPADHYAY, N.; SADEGHI, S.H.; HAZBAVI, Z.; ZABIHI, M.; LARIONOV, G.A.; KRASNOV, S.F.; GOROBETS, A.V.; LEVI, Y.; ERPUL, G.; BIRKEL, C.; HOYOS, N.; NAIPAL, V.; OLIVEIRA, P.T.S.; BONILLA, C.A.; MEDDI, M.; NEL, W.; DASHTI, H.A.; BONIL, M.; DIODATO, N.; OOST, K.V.; NEARING, M.; BALLABIO, C. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, v.7, p.4175, 2017.
- PASSOS, J.B.M.C. Avaliação de metodologias de estimativa de chuvas intensas na ausência de dados pluviográficos. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2017. 47f.
- PFAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957. 246p.
- SANTOS, G.G.; FIGUEIREDO, C.C.; OLIVEIRA, L.F.C.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, p.899-905, 2009.
- SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v.57, p.251-259, 2004.
- SILVA, C.B. OLIVEIRA, L.F.C. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas extremas na região nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.20, p.267-283 2017.
- SILVEIRA, A.L.L. Equação para coeficientes de desagregação de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, p.143-147, 2000.
- TRINDADE, A.L.F.; OLIVEIRA, P.T.S.; ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, 1918-1928, 2016.
- THAUVIN, V.; GAUME, E.; ROUX, C. A short time-step point rainfall stochastic model. *Water Science Technology*, v.11, p. 37-45, 1998.
- VENEZIANO, D.; FURCOLO, P.; IACOBELLIS, V. Imperfect scaling of time and space-time rainfall. *Journal of Hydrology*, v.322, p.105-109, 2006.

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

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58p.

3. CAPÍTULO II

EROSÃO ENTRESSULCOS SOB DIFERENTES DURAÇÕES E INTENSIDADES DE CHUVA SIMULADA

3.1 RESUMO

Comumente a duração e a intensidade da chuva são utilizadas para caracterização do seu potencial erosivo e do padrão de precipitação. Entretanto, resultados de pesquisas sobre o efeito de chuvas simuladas com igual erosividade e associações de diferentes durações e intensidades na erosão entressulcos não foram encontrados na literatura. Objetivou-se avaliar a produção de sedimentos e o escoamento superficial em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes combinações de duração (Dur) e intensidade de precipitação (IP) de chuvas com igual erosividade. As chuvas a campo foram aplicadas após o preparo do solo, em condição de solo exposto, no período de agosto a setembro de 2017 e, após a colheita do milho, com o solo coberto com a palhada remanescente ao cultivo, em março de 2018, em terreno com declividade de $0,09 \text{ m m}^{-1}$, no município de Seropédica - RJ. Em 2017 as chuvas aplicadas foram: IP $44,5 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 106 min; IP $53,5 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 78 min; IP $60,4 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 60 min; IP $66,9 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 48 min; e IP $76,5 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 38 min. Em 2018 aplicou-se: IP $44,6 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 106 min; IP $52,9 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 78 min; IP $60,4 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 60 min; IP $67,6 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 48 min; e IP $75,0 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 38 min. No solo sem cobertura (experimento de 2017), a produção total de sedimentos variou de $2,17$ a $6,11 \text{ g m}^{-2}$, respectivamente nas IPs $53,54$ e $44,5 \text{ mm h}^{-1}$. As maiores taxas de produção de sedimentos e de escoamento ocorreram na IP $76,5 \text{ mm h}^{-1}$. No experimento de 2018 a produção de sedimentos variou de $1,89 \text{ g m}^{-2}$ a $4,02 \text{ g m}^{-2}$, respectivamente para nos tratamentos IP $52,9 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur de 78 min e IP $44,6 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 106 min. O escoamento superficial variou de $16,90 \text{ mm}$ a $32,63 \text{ mm}$, respectivamente nas IPs $75,0 \text{ mm h}^{-1}$ e $52,9 \text{ mm h}^{-1}$. As maiores taxas de escoamento superficial e de produção de sedimentos ocorreram nas IPs $67,4 \text{ mm h}^{-1}$ e $75,0 \text{ mm h}^{-1}$. Portanto, pode-se concluir que a intensidade e a duração das chuvas alteram a produção de sedimentos, mas não influenciam significativamente o escoamento superficial, em solo revolvido e sem cobertura na superfície. Sob palhada de milho, a produção de sedimentos e o escoamento superficial não são alterados pela duração e intensidade das chuvas de mesma erosividade, comprovando que o uso fundamental de solo como técnica de uso conservacionista do solo.

Palavras-chave: Erosividade. Produção de sedimentos. Escoamento superficial.

3.2 ABSTRACT

Rainfall duration and intensity are commonly used to characterize its erosive potential and precipitation pattern. However, results of research on the effect of simulated rainfall with equal erosivity and associations of different durations and intensities on interrill erosion were not found in the literature. The objective of this study was to evaluate the sediment yield and surface runoff in a Red-Yellow Ultisol under different combinations of duration (Dur) and precipitation intensity (IP) of rainfall with equal erosivity. The field rains were applied after the soil tillage, in exposed soil condition, from August to September 2017 and, after harvesting the corn, with the soil covered with the straw remaining to the crop, in March 2018, in an area with a slope of 0.09 m m^{-1} , in the municipality of Seropédica - RJ, Brazil. In 2017 the rains applied were: IP 44.5 mm h^{-1} and Dur 106 min; IP 53.5 mm h^{-1} and Dur 78 min; IP 60.4 mm h^{-1} and Dur 60 min; IP 66.9 mm h^{-1} and Dur 48 min; and IP 76.5 mm h^{-1} and Dur 38 min. In 2018 the following were applied: IP 44.6 mm h^{-1} and Dur 106 min; IP 52.9 mm h^{-1} and Dur 78 min; IP 60.4 mm h^{-1} and Dur 60 min; IP 67.6 mm h^{-1} and Dur 48 min; and IP 75.0 mm h^{-1} and Dur 38 min. In the soil without cover (2017 experiment), the total sediment yield ranged from 2.17 to 6.11 g m^{-2} , respectively in the IP 53.54 mm h^{-1} and Dur 78 min and IP 44.5 mm h^{-1} and Dur 106 min. The highest rates of sediment yield and runoff occurred at IP 76.5 mm h^{-1} . In the 2018 experiment the sediment yield varied from 1.89 g m^{-2} to 4.02 g m^{-2} , respectively for the treatments IP 52.9 mm h^{-1} and Dur of 78 min and IP 44.6 mm h^{-1} and Dur 106 min. The runoff ranged from 16.90 mm to 32.63 mm , respectively at IPs 75.0 mm h^{-1} and 52.9 mm h^{-1} . The highest rates of surface runoff and sediment production occurred at IP 67.4 mm h^{-1} and Dur 48 min and IP 75.0 mm h^{-1} and Dur 38 min. Therefore, it can be concluded that rainfall intensity and duration alter sediment yield, but do not significantly influence surface runoff, in upturned soil and without surface cover. Under corn straw, sediment production and surface runoff are not altered by the duration and intensity of rainfall of the same erosivity, proving that the fundamental use of soil as a technique of conservationist use of the soil.

Key words: Erosivity. Sediment Detachment. Runoff.

3.3 INTRODUÇÃO

O solo é o componente central dos sistemas terrestres, pois controla os ciclos hidrológicos, geoquímicos, biológicos, ecológicos e erosivos, o que torna suporte para os serviços ecossistêmicos primários (Keesstra et al., 2016; Robinson et al., 2017). Dessa maneira, o solo com características físicas, químicas e biológicas adequadas é fundamental para a garantia das necessidades humanas no século XXI (Amundson et al., 2015; Keesstra et al., 2016), pois é a base da agricultura (Amundson et al., 2015) e, conseqüentemente da produção de alimentos, fibras, conservação da água e purificação do ar (Borrelli et al., 2013).

A maioria dos solos no mundo possuem algum tipo de degradação e, em muitos casos, em níveis avançados (FAO e ITPS, 2015). A erosão hídrica acelerada é a principal causa dessa degradação (Borrelli et al., 2013; Panagos et al., 2017; Wang et al., 2017; Wu et al., 2018a), pois altera o ciclo de nutrientes e do carbono, afetando a produtividade da terra e as condições socioeconômicas mundiais (Borrelli et al., 2013; Wang et al., 2016). Em geral, a erosão entressulcos ocorre devido à combinação de dois processos distintos: o desprendimento das partículas do solo devido à ação das gotas de chuva e ao escoamento superficial ou fluxo laminar superficial, que pode transportar o solo desagregado (Ellison, 1947; Cantalice et al., 2017). A intensidade do processo ocorre em função do potencial erosivo das chuvas, definido por sua intensidade e duração (Wang et al., 2014; Angulo-Martínez e Barros, 2015; Katebikord et al., 2017). Dessa maneira, a erosão do solo é um processo chave para compreender a degradação das terras no mundo e reduzir as perdas de solo a valores toleráveis por meio do uso de estratégias e práticas conservacionistas (Keesstra et al., 2016; Panagos et al., 2017).

As principais atividades que contribuem para a erosão antrópica são o desmatamento, o pastejo excessivo (Pimentel e Burgess, 2013) e o uso de práticas inadequadas de manejo nos sistemas agrícolas de produção (Montgomery, 2007). A crescente demanda mundial por alimentos, fibras e combustíveis intensifica a conversão de áreas nativas em áreas agrícolas e de pastagens, principalmente, em países tropicais em desenvolvimento como o Brasil (Gibbs et al., 2010) e outros países da América do Sul, da África Subsaariana, e do sudeste da Ásia. Borrelli et al. (2013) constataram aumento de 2,5% das taxas mundiais de erosão do solo no período de 2001 a 2012, ocasionado por alteração do uso da terra, principalmente nos países mencionados. Essa mudança no uso da terra altera os processos hidrológicos e as taxas de erosão do solo (Wohl et al., 2012; Merten e Minella, 2013). No Brasil, a expansão agrícola aumentou exponencialmente a erosão hídrica (Oliveira et al., 2015a, 2015b). Atualmente, as áreas sob pastagem e produção agrícola somam aproximadamente 32% (275 milhões de hectares) da área total do Brasil (851 milhões de hectares) (FAO, 2016).

É necessário iniciar novos estudos a campo sobre o processo erosivo do solo sob diferentes usos da terra (Oliveira et al., 2015b, 2015c; Anache et al., 2017), pois 50% dos estudos sob chuva natural no Brasil tem dois anos ou menos de monitoramento (Anache et al., 2017). Assim, ampliar a base de informações disponíveis sobre a erosão hídrica e o efeito do padrão de precipitação nesse processo possibilitará a recomendação de práticas conservacionistas mais efetivas e servirá de base para elaboração de políticas públicas em conservação do solo e da água.

Diante das limitações nos estudos sob chuva natural, o uso de simuladores de chuva para avaliação da erosão hídrica diminui o tempo para obtenção de resultados e possibilita maior controle das características das chuvas, como velocidade e diâmetro de gota, duração e intensidade, além da repetibilidade dos estudos. Os simuladores têm sido utilizados por diversos pesquisadores na avaliação do processo erosivo e a infiltração de água no solo em condições de laboratório e de campo (Alves Sobrinho et al., 2008; Cerdà e Jurgensen, 2011;

Panachuki et al., 2011; Abudi et al., 2012; Iserloh et al., 2012; Ran et al., 2012; Iserloh et al., 2013; Martínez-Murillo et al., 2013; Goebes et al., 2014; Lassu et al., 2015; Almeida et al., 2016; Rodrigo-Comino et al., 2016; He et al., 2017; Katebikord et al., 2017; Mayerhofer et al., 2017; Wang et al., 2017; Almeida et al., 2018; Kavian et al., 2018; Li e Pan, 2018; Moraes et al., 2018; Zhao et al., 2018). Os simuladores de chuva portáteis possuem parcelas experimentais com área inferior a 5,0 m², sendo a maioria inferior a 1,0 m² (Cerdà, 1999; Abudi et al., 2012; Iserloh et al., 2013) e são ferramentas essenciais em pesquisas sobre os processos hidrológicos superficiais e da dinâmica da erosão do solo (Iserloh et al., 2013).

Embora haja alteração do processo erosivo a partir do padrão de ocorrência das chuvas (Ran et al., 2012; An et al., 2014; Wang et al., 2017; Zhang e Wang, 2017; Wu et al., 2018b) são necessários estudos sobre o efeito de chuvas de mesma erosividade e com diferentes durações e intensidades no processo de erosão entressulcos. Portanto, neste estudo a hipótese é que chuvas intensas de mesma erosividade, com características físicas distintas, como a duração do evento e da intensidade da chuva, alteram o processo de erosão entressulcos. Logo, os objetivos foram: avaliar o escoamento superficial e a produção de sedimentos no solo, sob chuva simulada com mesma erosividade e diferentes durações e intensidades.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos de campo para avaliar a erosão entressulcos sob condições de chuva simulada em micro parcelas de 0,70 m². O experimento 1 foi conduzido no período de agosto a setembro de 2017, após o preparo convencional do solo (uma aração e duas gradagens na camada de 0 a 20 cm), o qual foi mantido sem cobertura vegetal. Após o término do experimento 1, a área foi novamente revolvida com duas gradagens aradoras e uma niveladora, também na camada de 0 a 20 cm, para posterior semeadura de milho (BRS Catingueiro). O ciclo de cultivo foi de aproximadamente 100 dias e, depois da colheita, a palhada foi deixada sobre a superfície do solo para realização do experimento 2, em março de 2018.

3.4.1 Área Experimental

Os experimentos a campo foram conduzidos em Seropédica, RJ (22° 46' S, 43° 41' O e altitude média de 33 m). O Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico da área experimental possui 540, 150 e 310 g kg⁻¹ (0-27 cm); 430, 135 e 435 g kg⁻¹ (46-117 cm) de areia, silte e argila, respectivamente (Cruz, 2006). O clima regional é do tipo Aw segundo a classificação climática de Köppen, com médias anuais de precipitação e temperatura variando de 1.300 a 1.600 mm e de 22 a 24 °C, respectivamente (Alvares et al., 2013). A topografia é ondulada, e a declividade média da área experimental é de 0,09 m m⁻¹ (Cruz, 2006). A área estava em pousio desde janeiro de 2012 e com grama batatais (*Paspalum notatum*) em superfície.

3.4.2 Caracterização dos Tratamentos

A chuva com duração (Dur) de 60 min e intensidade de precipitação (IP) constante e igual a 60 mm h⁻¹ foi utilizada como referência, pois em vários estudos com chuva simulada tem-se utilizado essa chuva (Silva et al., 2005; Panachuki et al., 2006a, 2011, 2015; Garbiate et al., 2011; Santos et al., 2014; Carvalho et al., 2015; Almeida et al., 2016; Valim et al., 2016; Moraes et al., 2018). O índice de erosividade dessa chuva equivale a 871,27 MJ mm ha⁻¹ h, valor que foi mantido fixo para determinação dos demais tratamentos. Para manter a mesma erosividade por evento de chuva simulada, foram realizadas simulações com o programa Energia (Alves Sobrinho et al., 2001) para a obtenção dos diferentes tratamentos, caracterizados por combinações de duração e intensidade de precipitação.

No experimento 1 foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e cinco repetições em cada tratamento. Os tratamentos foram: IP de 44,5 mm h⁻¹ e Dur de 106 min; IP de 53,5 mm h⁻¹ e Dur de 78 min; IP de 60,4 mm h⁻¹ e Dur de 60 min; IP de 66,9 mm h⁻¹ e Dur de 48 min; e, IP de 76,5 mm h⁻¹ e Dur de 38 min.

No experimento 2 o delineamento experimental foi em casualização por blocos (DBC), com cinco tratamentos e cinco repetições em cada tratamento. Os tratamentos foram: IP de 44,6 mm h⁻¹ e Dur de 106 min; IP de 52,9 mm h⁻¹ e Dur de 78 min; IP de 60,4 mm h⁻¹ com duração e Dur de 60 min; IP de 67,4 mm h⁻¹ com duração e Dur de 48 min; e IP de 75,0 mm h⁻¹ e Dur de 38 min.

3.4.3 Avaliação da Erosão

Para a aplicação das chuvas foi utilizado o simulador de chuva portátil de disco rotativo desenvolvido por Alves Sobrinho et al. (2008) (Figura 4), e que vem sendo usado em

estudos de erosão (Silva et al., 2005; Panachuki et al., 2006a, 2011, 2015; Garbiate et al., 2011; Santos et al., 2014; Carvalho et al., 2015; Almeida et al., 2016; Valim et al., 2016; Moraes et al., 2018) e rugosidade superficial do solo (Panachuki et al., 2010). O simulador opera com dois bicos Veejet 80.150 paralelos entre si, posicionados a 2,3 m em relação à superfície do solo e com pressão de serviço média de 35,6 kPa. A pressão de funcionamento foi monitorada durante todos os eventos de chuva com uso de um manômetro instalado no simulador de chuvas, antes dos bicos precipitadores.

As parcelas experimentais possuem área útil de 0,7 m² e são delimitadas por chapas de aço galvanizado com estrutura do tipo funil, em uma das laterais, que possibilita a coleta do volume de água escoado em superfície (Figura 4).



Figura 4. Simulador de chuvas portátil de disco rotativo e parcela experimental após aplicação de chuva a campo. (Fonte: arquivo pessoal do autor).

Antes de cada aplicação de chuva a umidade no solo dentro de cada tratamento foi uniformizada, conforme preconizado em outros estudos (Panachuki et al., 2011; Carvalho et al., 2015; Almeida et al., 2016). Após a etapa do pré-molhamento a aplicação das chuvas foi iniciada. O tempo para início do escoamento superficial foi medido e, a partir desse, a duração das chuvas foi aquela pré-estabelecida para cada tratamento. Dessa maneira, no experimento 1, a duração total da chuva foi o tempo para início de escoamento acrescido da duração pré-estabelecida em cada tratamento. De outro modo, no experimento 2, a duração total das chuvas foi aquela pré-estabelecida em cada tratamento, independentemente do tempo para início de escoamento superficial.

Após o início do escoamento na calha coletora, as medições de volume foram feitas a cada minuto e, a cada cinco minutos, uma amostra para estimativa da produção de sedimentos foi coletada. Em laboratório, foi adicionado sulfato de alumínio nas amostras para floculação e precipitação dos sólidos em suspensão. Após o período de 24 h o excesso de água de cada amostra foi retirado e as amostras colocadas em estufa a 105 °C. Após a secagem foi calculada a massa de sedimentos em cada teste por meio do somatório da massa seca das amostras proveniente de uma mesma chuva.

3.4.4 Atributos do Solo

Para monitorar a umidade do solo antecedente às chuvas foram coletadas amostras deformadas de terra com trado de rosca nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, ao lado das parcelas, antes do início de aplicação das chuvas. Nas mesmas profundidades e, dentro das parcelas, após aplicação das chuvas foram coletadas amostras para quantificar o carbono orgânico total e a estabilidade de agregados via úmida (diâmetro médio ponderado - DMP, diâmetro médio geométrico - DMG) e amostras indeformadas (anéis de 100 cm³) para estimativa da densidade e da porosidade (macro, micro e total) do solo. Nas análises laboratoriais foram utilizadas as metodologias descritas em Teixeira et al. (2017).

3.4.5 Percentual de Cobertura do Solo

Durante o experimento 2, no qual havia palhada de milho sobre a superfície do solo foram tomadas fotografias digitais em cada parcela experimental imediatamente após a aplicação da chuva. As imagens foram tomadas a 1,50 m em relação à superfície do solo, com foco na área de 0,70 m² (Almeida et al., 2016). A estimativa do índice de cobertura do solo (IC) foi feita por meio do algoritmo Serobin, implementado no programa computacional MATLAB (Varella et al., 2002). Para cada tratamento foi utilizada uma imagem base, na qual foram identificados dez pontos representando a cobertura vegetal e dez pontos representando o solo e essa imagem foi utilizada para a classificação e estimativa do IC nas demais (Cruz et al., 2008; Almeida et al., 2016).

3.4.6 Análise Estatística

Todas as análises estatísticas foram feitas em ambiente computacional R versão 3.5.1 (R Core Team, 2018). Para atender as pressuposições da análise estatística, a normalidade e a homogeneidade dos resíduos foram verificadas, respectivamente pelos testes de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) e de Bartlett (Bartlett, 1937). Não houve necessidade de transformação dos dados para atender às pressuposições. Assim, as diferenças entre tratamentos foram verificadas por meio de análise de variância considerando o delineamento inteiramente casualizado (experimento 1) e o delineamento em casualização por blocos (experimento 2) em esquema de parcelas subdividas, com cinco repetições em cada tratamento. Foram avaliados nas parcelas as associações de duração e intensidade de chuvas e, para os atributos do solo, nas subparcelas, duas profundidades (0,0-10,0 e 0,10-0,20 cm). Quando constatada diferença significativa entre os níveis dos fatores, as médias dos tratamentos foram comparadas pelos testes F (para profundidade) e pelo algoritmo de Scott-Knott (Scott & Knott, 1974) (para as associações de intensidade e duração de chuvas), considerando o nível de significância de 5%.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Experimento 1

3.5.1.1 Atributos do Solo

A homogeneidade do solo da área experimental pode ser constatada por meio dos valores dos atributos do solo (Tabela 9). Não foram constatadas diferenças significativas entre tratamentos para a macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PoT), densidade do solo (Ds), carbono orgânico (C_{org}), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), em uma mesma profundidade. Essa uniformidade reforça o fato de a erosão ser um processo controlado por fatores da superfície do solo, como rugosidade, selamento superficial e cobertura vegetal. De outra maneira, foi verificada diferença significativa para a umidade do solo antecedente às chuvas (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios de carbono orgânico (C_{org}), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PoT), densidade do solo (Ds) e umidade antecedente às chuvas por tratamento e profundidade do solo (0-10 cm representado por 10; 10-20 cm representado por 20)

Atributos do solo	Tratamentos									
	44,5 mm h ⁻¹		53,5 mm h ⁻¹		60,4 mm h ⁻¹		66,9 mm h ⁻¹		76,5 mm h ⁻¹	
$C_{org}10$ (g kg ⁻¹)	27,64	A	24,76	A	21,20	A	25,10	A	16,83	A
DMG10 (mm)	4,35	A	4,40	A	4,22	A	4,65	A	4,35	A
DMP10 (mm)	4,68	A	4,71	A	4,64	A	4,83	A	4,71	A
Macro10 (%)	15,61	A	16,32	A	17,05	A	15,46	A	12,90	A
Micro10 (%)	27,83	A	27,51	A	26,85	A	27,35	A	28,36	A
PoT10 (%)	43,44	A	43,83	A	43,90	A	42,81	A	41,26	A
Ds10 (g cm ⁻³)	1,01	A	0,97	A	0,95	A	0,97	A	0,96	A
$C_{org}20$ (g kg ⁻¹)	13,93	A	14,96	A	15,88	A	17,83	A	19,25	A
DMG20 (mm)	4,13	A	4,14	A	4,12	A	3,61	A	3,94	A
DMP20 (mm)	4,53	A	4,54	A	4,54	A	4,30	A	4,43	A
Macro20 (%)	3,26	A	4,25	A	3,09	A	3,73	A	4,07	A
Micro20 (%)	27,31	A	27,02	A	27,51	A	29,89	A	31,17	A
PoT20 (%)	30,57	A	31,57	A	30,60	A	33,62	A	35,24	A
Ds20 (g cm ⁻³)	1,28	A	1,28	A	1,29	A	1,27	A	1,23	A
Umidade (cm ³ cm ⁻³)	0,23	A	0,19	B	0,18	B	0,24	A	0,22	A

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas maiúsculas entre tratamentos em uma mesma profundidade, para um mesmo atributo do solo, não diferem entre si pelo teste F e de Scott-Knott ($p < 0,05$).

3.5.1.2 Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos Acumulados

As maiores lâminas acumuladas de escoamento superficial foram medidas para os tratamentos IP 44,5 mm h⁻¹ e Dur 106 min e IP 76,5 mm h⁻¹ e Dur 38 min, em valores absolutos (Figura 5). O incremento médio no escoamento superficial da menor para a maior lâmina é de 46% e para as demais chuvas, os valores absolutos são semelhantes entre si. A menor e a maior lâmina acumulada média de escoamento superficial foram 17,1 e 30,53 mm, respectivamente, nas IPs de 53,5 e 76,5 mm h⁻¹.

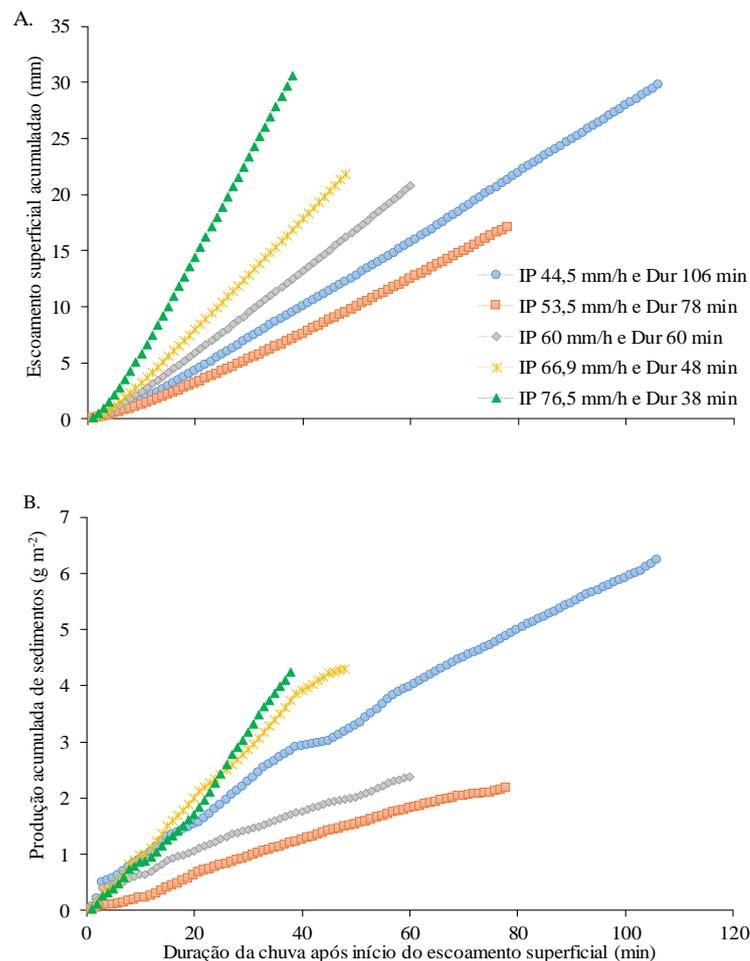


Figura 5. Escoamento superficial acumulado (mm) (A) e produção acumulada de sedimentos (g m^{-2}) (B) para diferentes combinações de intensidades versus duração das chuvas, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

Pode-se verificar nos dados que à medida que a IP de uma chuva com mesma erosividade diminui, a duração do evento passa a ser o componente principal na geração do escoamento superficial, alcançando os mesmos valores gerados de escoamento com incremento de intensidade de 32 mm/h e com decréscimo do tempo de ocorrência de 68 min. As chuvas de maior intensidade proporcionaram maior variação do escoamento superficial acumulado, embora suas durações tenham sido de apenas 38 min. Em maiores durações associadas à alta IP possivelmente maiores lâminas escoadas seriam observadas em relação às demais chuvas. Isso porque o escoamento superficial tem relação direta com a intensidade de precipitação (Kinnell, 2016), com a duração da chuva e com a lâmina precipitada, embora esse efeito não seja totalmente explicado (Assouline e Ben-Hur, 2006; Ran et al., 2012; An et al., 2014; Wang et al., 2017). Possivelmente, a variação nas lâminas escoadas superficialmente decorre da lâmina precipitada no tempo pré-estabelecido, embora esperava-se diferenças significativas entre tratamentos devido às diferentes associações de duração e intensidade de chuva. Apesar de não existir diferença significativa no escoamento gerado entre os tratamentos avaliados, as diferenças observadas são expressivas do ponto de vista prático, e contribuíram diretamente na diferença significativa obtida na produção de sedimentos (Tabela 09).

Tabela 9. Escoamento superficial, produção acumulada de sedimentos e tempo para início de escoamento superficial para os diferentes tratamentos, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico

Variável	Tratamentos									
	44,5 mm h ⁻¹		53,5 mm h ⁻¹		60,4 mm h ⁻¹		66,9 mm h ⁻¹		76,5 mm h ⁻¹	
Escoamento (mm)	29,73	a	17,07	a	20,79	a	21,79	a	30,53	a
Sedimentos (g m ⁻²)	6,12	a	2,17	b	2,37	b	4,30	a	4,23	a
Início do escoamento (min)	9,87	b	22,50	a	10,75	b	10,50	b	8,60	b

Médias seguidas por letras iguais na linha, para uma mesma variável, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)

A quantidade de sedimentos desagregados e transportados em todos os tratamentos aumentou com a duração das chuvas (de 53,5 para 76,5 mm h⁻¹) (Figura 5B). Para a chuva com IP de 44,5 mm h⁻¹ foi observada a maior produção de sedimentos, em valor numérico. De outro modo, na chuva simulada com 53,5 mm h⁻¹ foi constatado acréscimo menos acentuado em relação às chuvas de 44,5 mm h⁻¹, conforme menor lâmina de escoamento superficial, também em valor absoluto, que diminui a produção e sedimentos. Ou seja, o efeito do escoamento superficial na produção de sedimento é constatado e confirmado com os menores valores de produção de sedimentos observados nos mesmos tratamentos com as menores lâminas de escoamento superficial (em valor absoluto) (Tabela 9). Com relação ao tempo para o início de escoamento superficial foi constatada diferença significativa apenas na IP 53,5 mm h⁻¹ em comparação aos demais tipos de chuvas. Essa diferença se verifica, possivelmente em função das condições de rugosidade da superfície do terreno (Almeida et al., 2016; Zhao et al., 2018) e do menor conteúdo de água antecedente às chuvas nessa IP.

As perdas de solo variaram de 2,17 g m⁻², para IP de 53,54 mm h⁻¹, a 6,11 g m⁻², para 44,5 mm h⁻¹. A produção de sedimentos foi igual para as chuvas de 53,5 e 60,4 mm h⁻¹, diferindo daquela observada nas chuvas com IP de 44,5, 66,9 e 76,5 mm h⁻¹, que são iguais entre si. O maior valor médio ocorreu para a chuva de IP 44,5 mm h⁻¹ e duração de 106 min, totalizando 6,11 g m⁻² e o menor, 2,17 g m⁻² para as condições de IP 53,5 mm h⁻¹ e duração 78 min.

Em área experimental próxima à desse estudo, Carvalho et al. (2015) quantificaram produção de sedimentos média de 9,5 g m⁻², em Argissolo Vermelho-Amarelo, usando chuvas de 60 mm h⁻¹ com duração de uma hora. No presente estudo foi observada produção média de sedimento de 2,37 g m⁻², para o mesmo tipo de chuva (IP 60,4 mm h⁻¹ e Dur 60 min). As diferenças podem ser explicadas por fatores como o teor de carbono orgânico, a porosidade e estabilidade de agregados (Tabela 8), devido ao tempo em que a área permaneceu coberta por uma gramínea.

Em área de cerrado, Almeida et al. (2016) observaram produção de sedimentos média de 25,3 g m⁻² em Argissolo Vermelho, sob chuva de 60 mm h⁻¹ e duração de 60 min. Essas diferenças podem estar associadas à variabilidade das propriedades físicas do solo, à erodibilidade, às condições de cobertura do terreno e às próprias características das chuvas aplicadas. As chuvas com diferentes duração e intensidade de precipitação, e com erosividade semelhante alteram a produção de sedimentos, embora não tenha sido observada diferenças significativas no escoamento em superfície. Resultados semelhantes foram relatados por Ran et al. (2012); An et al. (2014); Wang et al. (2017), quanto ao escoamento superficial e à produção de sedimentos, em condições de chuva simulada.

3.5.1.3 Taxas de Escoamento Superficial e de Produção de Sedimentos

Para todos os tratamentos, as taxas de escoamento superficial atingem nível estável após 20 min, aproximadamente, fato também observado em condições de laboratório (He et

al., 2017). De maneira geral, as taxas mais elevadas estão associadas às chuvas com maior intensidade de precipitação (Figura 6A).

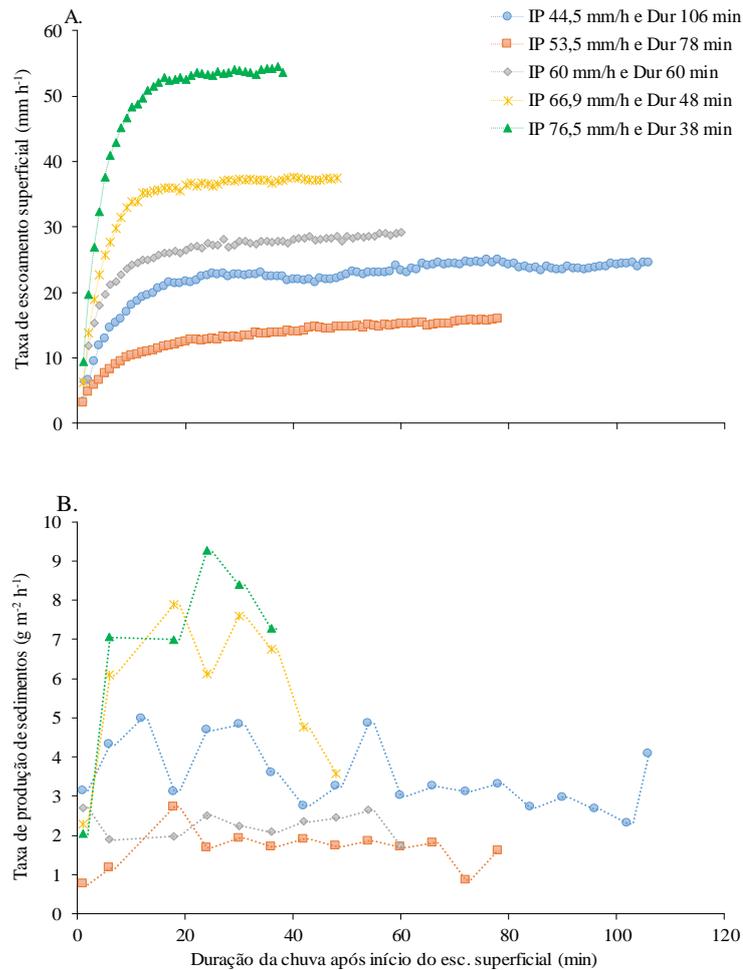


Figura 6. Taxa de escoamento superficial (mm h⁻¹) (A) e de produção de sedimentos (g m⁻² h⁻¹) (B) para diferentes combinações de intensidade versus duração da chuva, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

De maneira semelhante ao escoamento superficial, as taxas de produção de sedimentos para todos os tratamentos são mais baixas inicialmente (Figura 6B). Conforme a duração do evento se estende, as taxas de produção de sedimentos aumentam até cerca de 25 min, e continuando o evento ocorre a diminuição dessa variável para todas os tratamentos (Figura 6B). De modo geral, as taxas de produção de sedimentos e de escoamento superficial mais elevadas são observadas para as combinações de chuvas com maior intensidade de precipitação e menor duração, principalmente as IPs 66,9 e 76,5 mm h⁻¹. Entretanto, também são as primeiras a demonstrar decaimento nas taxas de produção e sedimentos.

Geralmente a concentração de sedimentos é diretamente relacionada à intensidade de precipitação das chuvas e, portanto, torna-se indispensável quantificar as taxas de escoamento superficial durante os eventos de aplicação de chuvas para melhor compreensão do processo erosivo do solo (Kinnell, 2016).

3.5.1.4 Efeito do Escoamento Superficial na Produção de Sedimentos

O padrão de variação da razão entre a produção de sedimentos e o escoamento superficial (S/E) é semelhante dentre as combinações de chuva avaliadas. A razão é alta inicialmente, quando o escoamento superficial é menor. Com aumento do tempo de chuva, o escoamento superficial é crescente, pois a entrada de água da chuva é constante e a capacidade de infiltração decresce até atingir um valor que tende à constância. Em decorrência disso, a razão S/E diminui. A partir dos 20 min após o início do escoamento, a razão S/E é praticamente constante em cada tipo de chuva (Figura 7).

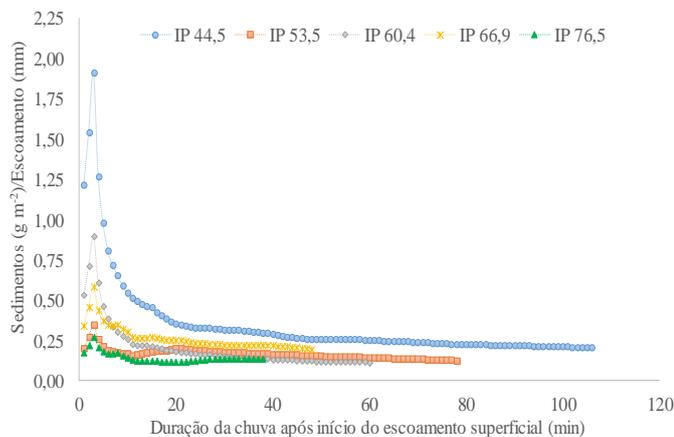


Figura 7. Razão de produção de sedimentos (g m^{-2}) em função do escoamento superficial (mm) para as diferentes combinações de intensidade versus duração de chuvas, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

A razão S/E é maior na IP 44,5 mm h^{-1} para todo o período de aplicação de chuva, com valor máximo próximo a $2,0 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$. As demais razões, inicialmente são maiores seguindo a ordem das IPs 60,4, 66,9, 53,5 e 76,5 mm h^{-1} . A partir dos 20 min há alteração dessa ordem de maior razão S/E, o que possivelmente está relacionado à intensidade de precipitação das chuvas. Para as maiores intensidades, se associadas a maiores durações, resulta em maiores S/E, pois a intensidade e a duração das chuvas aumentam as taxas de produção de sedimentos. Em alguns estudos têm sido relatadas relação linear entre lâmina escoada superficialmente a produção de sedimentos (Mathys et al., 2005; Pan e Shangguan, 2006; Bertol et al., 2017), diferente do observado nesse estudo, podendo esse resultado ter sido obtido em ensaios com duração reduzida, onde se observa parte da curva da razão S/E.

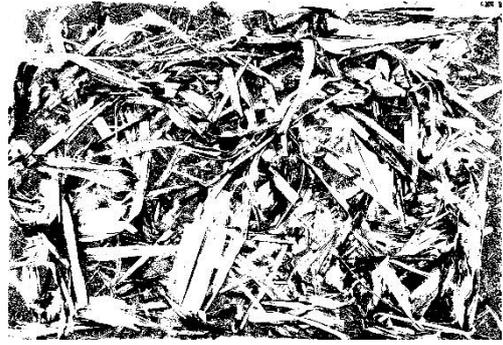
3.5.2 Experimento 2

3.5.2.1 Percentual de Cobertura do Solo

Nas imagens binárias classificadas para estimar o percentual de cobertura do solo pela palhada de milho, a cor branca representa o atributo planta e a cor preta o atributo solo (Figura 8). De maneira geral, o estimador da cobertura detectou os contrastes entre palha e solo, embora originalmente o Serobin seja um estimador de cobertura verde. Almeida et al. (2016) e Cruz et al. (2008) também utilizaram o Serobin para estimativa da cobertura do solo e obtiveram resultados satisfatórios.



a



b



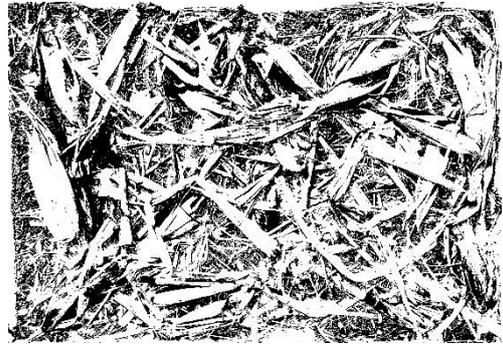
c



d



e



f



g



h



Figura 8. Cobertura vegetal na superfície do solo após aplicação das chuvas com combinações de intensidade e duração (IP) e (Dur) 44,5 mm h⁻¹ e 106 min; 53,5 mm h⁻¹ e 78 min; 60,4 mm h⁻¹ e 60 min; 66,9 mm h⁻¹ e 48 min; e, 76,5 mm h⁻¹ e 38 min, respectivamente imagens digitais (a, c, e, g, i) e binárias (b, d, f, h, j).

O percentual de cobertura do solo foi menor na IP 44,6 mm h⁻¹ com valor de 51,69%, o que corresponde a 35% menos em relação ao maior percentual em valor absoluto de 79,52% na IP 67,4 mm h⁻¹ (Tabela 10).

Tabela 10. Índice de cobertura vegetal e massa seca da palhada de milho sobre a superfície do solo para os diferentes tratamentos

Tratamentos	Valores médios±desvio padrão			
	Índice Cobertura (%)		Palhada de milho (kg m ⁻²)	
IP 44,6 mm h ⁻¹ e Dur 106 min	51,69±0,10	b	0,40±0,12	a
IP 52,9 mm h ⁻¹ e Dur 78 min	69,35±0,11	a	0,45±0,10	a
IP 60,4 mm h ⁻¹ e Dur 60 min	68,83±0,15	a	0,42±0,02	a
IP 67,4 mm h ⁻¹ e Dur 48 min	79,52±0,10	a	0,39±0,06	a
IP 75,0 mm h ⁻¹ e Dur 38 min	63,97±0,07	a	0,50±0,13	a
Média Geral	66,67±0,10		0,43±0,08	
CV (%)	16,43		22,01	

Médias seguidas por letras iguais na coluna, para uma mesma variável, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Embora o percentual de cobertura vegetal seja diferente entre os tratamentos, a quantidade de massa seca da palhada de milho é igual entre os tratamentos. Possivelmente, a quantidade de colmo e de folhas explica essa variação no índice de cobertura, pois quanto mais folhas em superfície e, dependendo da disposição dessas, pode-se aumentar o percentual de cobertura do solo, em comparação às situações com maior quantidade de colmos em superfície.

No cultivo de soja sob semeadura direta, Almeida et al. (2016) constataram que o percentual de cobertura proveniente da palhada de milho foi 37,37% no desenvolvimento inicial da soja e que esses resíduos de milho foram efetivos na redução das taxas de erosão do solo, enquanto a cultura da soja ainda não era capaz de proteger o solo do impacto das gotas de chuva. O efeito dos resíduos da cultura anterior (milho) na redução da desagregação e das perdas de terra por erosão também foi verificado por Engel et al. (2009).

3.5.2.2 Tempo para Escoamento Superficial e Umidade Antecedente às Chuvas

O tempo necessário para início do escoamento foi estatisticamente igual entre os tipos de chuvas aplicadas. Os maiores tempos para o escoamento foram verificados para os

tratamento IPs e Dur 44,6 mm h⁻¹ e 106 min; 52,9 mm h⁻¹ e 78 min; 60,4 mm h⁻¹ e 60 min e 75,0 mm h⁻¹ e 38 min, e variou de 11,6 min no IP 75,0 mm h⁻¹ e Dur 38 min até 19,2 min no IP 44,6 mm h⁻¹ e Dur 106 min. Nesse último tratamento também foi observado o maior desvio padrão (Tabela 11).

Tabela 11. Tempo para início de escoamento superficial e umidade antecedente à aplicação de chuvas com diferentes combinações de intensidade de precipitação e duração, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

Tipos de chuva	Tempo para escoamento (min)	Umidade antecedente (cm ³ cm ⁻³)	
	Média±DP	0-10 cm	10-20 cm
IP 44,6 mm h ⁻¹ e Dur 106 min	19,2±12,87 a	0,32±0,03 Aa	0,31±0,03 Aa
IP 52,9 mm h ⁻¹ e Dur 78 min	14,0±9,27 a	0,30±0,03 Aa	0,32±0,03 Aa
IP 60,4 mm h ⁻¹ e Dur 60 min	16,0±7,54 a	0,30±0,03 Aa	0,30±0,03 Aa
IP 67,4 mm h ⁻¹ e Dur 48 min	5,8±3,56 a	0,29±0,03 Aa	0,32±0,02 Aa
IP 75,0 mm h ⁻¹ e Dur 38 min	11,6±6,18 a	0,31±0,02 Aa	0,33±0,02 Aa
Média Geral	13,32	0,30	0,31
CV (%)	48,22	9,91	

Médias seguidas por letras iguais na coluna, para uma mesma variável, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p < 0,05).

Essa diferença pode decorrer das características da palhada de milho na superfície do solo e aos atributos físicos do solo, uma vez que, o conteúdo de água do solo (umidade) antecedente à aplicação da chuva foi homogêneo entre os tratamentos (Tabela 12). Em relação à palhada, no tratamento IP 67,4 mm h⁻¹ e Dur 38 min foi constatada menor quantidade de palha e maior percentual de cobertura do solo, em valor absoluto, devido à menor relação colmo/folha. A maior quantidade de folhas finas pode ter diminuído o tempo para a água transpor a cobertura vegetal e atingir a superfície do solo mais rápido que nos demais tratamentos.

3.5.2.3 Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos Acumulados

As lâminas de água escoadas em superfície são estatisticamente semelhantes para a maioria das chuvas aplicadas, exceto para a IP 75,0 mm h⁻¹ e Dur 38 min. A menor e a maior lâmina acumulada de escoamento superficial foram de 16,90 mm e 32,63 mm, respectivamente, nas IPs de 75,0 e 52,9 mm h⁻¹ (Tabela 12).

Tabela 12. Escoamento superficial e produção de sedimentos acumulados de chuvas com diferentes combinações de intensidade de precipitação e duração, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

Tratamentos	Escoamento (mm)	Sedimentos (g m ⁻²)
IP 44,6 mm h ⁻¹ e Dur 106 min	32,35±20,27 a	4,02±2,66 a
IP 52,9 mm h ⁻¹ e Dur 78 min	32,63±10,67 a	1,89±1,26 a
IP 60,4 mm h ⁻¹ e Dur 60 min	23,97±14,21 a	2,47±1,16 a
IP 67,4 mm h ⁻¹ e Dur 48 min	23,96±7,88 a	3,86±1,91 a
IP 75,0 mm h ⁻¹ e Dur 38 min	16,90±8,41 b	3,17±2,13 a
Média Geral	25,96	3,08
CV (%)	37,61	59,00

Médias seguidas por letras iguais na coluna, para uma mesma variável, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p < 0,05)

A lâmina escoada depende de diversos fatores como a lâmina precipitada, o selamento superficial, a infiltração de água no solo, a erodibilidade do solo e a intensidade, sendo o efeito dessa última menos esclarecido (Assouline & Ben-Hur, 2006; Ran et al., 2012; An et al., 2014; Wang et al., 2017). De outro modo, o escoamento superficial está diretamente relacionado à intensidade de precipitação, com o tempo de ocorrência da chuva e com a lâmina aplicada (Kinnell, 2016), embora esse efeito não seja totalmente compreendido (Assouline & Ben-Hur, 2006; Wang et al., 2017). Poucas pesquisas relacionam a ação combinada da intensidade da chuva e do escoamento superficial (Li & Pan, 2018), por isso novos estudos sobre esse complexo processo são necessários. Considerando os valores absolutos, de maneira geral, no presente estudo, a lâmina escoada diminuiu com aumento da intensidade de precipitação. Esse fato está relacionado à diminuição da lâmina aplicada nas chuvas de maior intensidade, decorrente das menores durações dessas chuvas.

A produção de sedimentos variou de $1,89 \text{ g m}^{-2}$ a $4,02 \text{ g m}^{-2}$, na $44,6 \text{ mm h}^{-1}$, com média de $3,08 \text{ g m}^{-2}$. O maior valor absoluto ocorreu no tratamento IP $44,5 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 106 min e o menor em IP $52,9 \text{ mm h}^{-1}$ e Dur 78 min (Tabela 12). Contudo, as diferentes associações da duração e da intensidade das chuvas não alteraram significativamente a produção de sedimentos. Esse resultado está relacionado ao percentual de cobertura do solo (Tabela 10) proporcionado pela palhada de milho na superfície do solo, o que diminui a energia do impacto das gotas de chuvas e, conseqüentemente o desprendimento das partículas do solo. Outros autores verificaram resultados semelhantes aos do nosso estudo, quando ao efeito das características das chuvas no escoamento superficial e na produção de sedimentos, em condições de chuva simulada (Ran et al., 2012; An et al., 2014; Wang et al., 2017).

Na mesma área experimental e em condições de solo sem cobertura, Carvalho et al. (2015) aplicaram chuvas de 60 mm h^{-1} com duração de 60 min, utilizando simulador chuvas igual ao desse estudo. A produção de sedimentos média foi de $9,5 \text{ g m}^{-2}$, que é praticamente três vezes maior que aquela do presente estudo. Essas diferenças podem ser explicadas sobretudo pela palhada de milho, associada ao teor de carbono orgânico, a porosidade e estabilidade de agregados.

São vários os fatores que podem interferir na produção de sedimentos, além das próprias características físicas das chuvas e a cobertura sobre o solo. Iserloh et al. (2013) relatam que os valores de energia cinética produzidas pelos simuladores são menores quando comparados aqueles das chuvas naturais reportados na literatura. A justificativa é que a altura de queda das gotas nos simuladores não possibilita que sua velocidade terminal seja a mesma das grandes gotas de chuva natural. Entretanto, a relação entre a energia cinética das chuvas simuladas em relação às chuvas naturais de igual magnitude é alta, o que corrobora o uso dos simuladores de chuva nos estudos de erosão, escoamento superficial, erodibilidade e infiltração de água no solo.

3.5.2.4 Taxas de Escoamento Superficial e de Produção de Sedimentos

Inicialmente as taxas de escoamento superficial são baixas e com incremento da duração da chuva as taxas de escoamento aumentam, atingindo maiores valores ao final das chuvas. De maneira geral, as taxas mais elevadas são observadas para as chuvas com maior intensidade de precipitação (Figura 9). Essa resposta também foi observada em condições de laboratório (He et al., 2017).

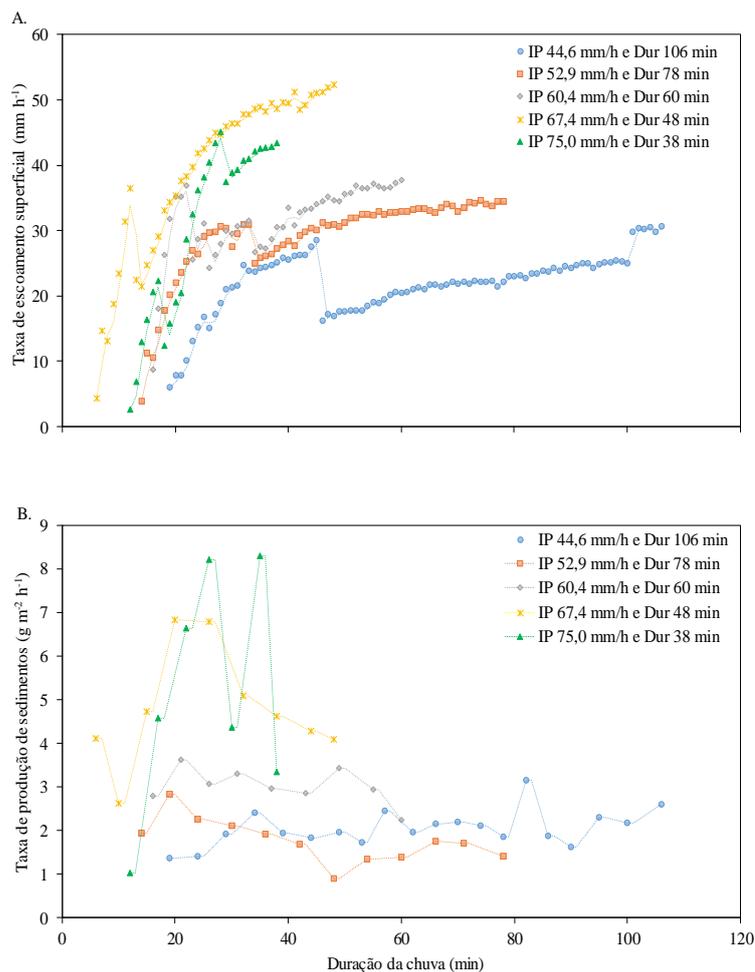


Figura 9. Taxa de escoamento superficial (A) e de produção de sedimentos (B) para diferentes combinações de intensidade de precipitação versus duração de chuva simulada, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

De maneira semelhante ao que ocorre no escoamento superficial, as taxas de produção de sedimentos para os tratamentos são mais baixas inicialmente, à exceção da IP 67,4 mm h⁻¹ (Figura 7B). Conforme a duração da chuva aumentou, houve diminuição das taxas de produção de sedimentos para todos os tipos de chuva, embora não tão evidenciadas para a IP 75 mm h⁻¹, em razão da curta duração da chuva (38 min).

De modo geral, as taxas de produção de sedimentos e de escoamento superficial mais elevadas foram observadas para as chuvas com maior intensidade de precipitação, sobretudo nos tratamentos IP 67,4 mm h⁻¹ e Dur 48 min e IP 76,5 mm h⁻¹ e Dur 38 min. Taxas de produção de sedimentos mais altas que as observadas em nosso estudo foram constatadas por Li & Pan (2018) em áreas de solo sem cobertura e com textura argilosa (42% de argila). Os autores quantificaram valores próximos a 120 g m⁻² min⁻¹ nos primeiros minutos (oito minutos) após o escoamento superficial. Ao final da chuva (64 minutos), as taxas produção de sedimentos foram de aproximadamente 20 g m⁻² min⁻¹. Além da taxa de produção de sedimentos, geralmente a concentração de sedimentos é relacionada diretamente à intensidade de precipitação das chuvas (Kinnell, 2016). Em nosso estudo esta relação direta não foi observada, pois as taxas de erosão do solo dependem de diversos fatores, como a cobertura do solo, a infiltração de água, a erodibilidade do solo, dentre outras.

Ainda, devido à presença da cobertura vegetal, o tempo para a estabilização da taxa de escoamento superficial mais que dobrou, e em alguns tratamentos nem chegou a ser

observada devido à pequena duração aplicada ao tratamento, como por exemplo nos IP 75,0 mm h⁻¹ e Dur 38 min, 67,4 mm h⁻¹ e Dur 48 min e, IP 60,4 mm h⁻¹ e Dur 60 min. Da mesma maneira, não é possível constatar tendência marcante de redução na taxa de produção de sedimentos em alguns tratamentos devido ao curto tempo nesses tratamentos avaliados. No caso da IP mínima avaliada, ocorreu uma estabilização na taxa de produção de sedimentos.

3.6 CONCLUSÕES

As chuvas com erosividade semelhante e distintas durações e intensidades de precipitação (experimento 1) alteram o processo de produção de sedimentos, mas não influenciam o escoamento superficial, quando simuladas sobre solo exposto.

As chuvas com igual erosividade e diferentes intensidades de precipitação e durações influenciam as lâminas escoadas, entretanto não alteram a produção de sedimentos, quando a superfície do solo permanece protegida por cobertura vegetal (experimento 2).

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUDI, I.; CARMI, G.; BERLINER, P. Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology*, v.454-455, p.76-81, 2012.
- ALMEIDA, W.S.; CARVALHO, D.F.; PANACHUKI, E.; VALIM, W.C.; RODRIGUES, S.A.; VARELLA, C.A.A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, 1110-1119, 2016.
- ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; SILVA, R.M.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil e Tillage Research*, v.175, p.130-138, 2018.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013.
- ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F.; AQUINO, R.M.; MONTEBELLER, C.A. Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetro de aspersão. *Engenharia Rural*, v.12, p.28-35, 2001.
- ALVES SOBRINHO, T.; MACPHERSON, H.G.; GÓMEZ, J.A.A portable integrated rainfall and overland flow simulator. *Soil Use and Management*, v.24, p.163-170, 2008.
- AMUNDSON, R.; BERHE, A.A.; HOPMANS, J.W.; OLSON, C.; SZTEIN, A.E.; SPARKS, D.L. Soil and human security in the 21st century. *Science*, v.348, 1261071. doi:10.1126/science.1261071
- AN, J.; ZHENG, F.L.; HAN, Y. Effects of rainstorm patterns on runoff and sediment yield processes. *Soil Science*, v.179, 293-303, 2014.
- ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E.C.; OLIVEIRA, P.T.S.; FLANAGAN, D.C.; NEARING, M.A. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience. *Catena*, v.152, p.29-39, 2017.
- ANGULO-MARTÍNEZ, M.E.; BARROS, A.P. Measurement uncertainty in rainfall kinetic energy and intensity relationships for soil erosion studies: an evaluation using PARSIVEL disdrometers in the Southern Appalachian Mountains. *Geomorphology*, v.228, p.28-40, 2015.
- ASSOULINE, S.; BEN-HUR, M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, v.66, p.211-220, 2006.
- BAGARELLO, V.; FERRO, V. Scale effects on plot runoff and soil erosion in a Mediterranean environment. *Vadose Zone Journal*, v.16, 2017. doi:10.2136/vzj2017.03.0059
- BAKO, A.N.; DARBOUX, F.; JAMES, F.; JOSSERAND, C.; LUCAS, C. Pressure and shear stress caused by raindrop impact at the soil surface: scaling laws depending on the water depth. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.41, p.1199-1210, 2016.
- BARTLETT, M.S. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London*, v.160, p.268-282, 1937.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. UFV, Viçosa, p. 611, 2005.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BANDEIRA, D. H.; PAZ-FERREIRO, J.; VÁZQUEZ, E.V. Multifractal and joint multifractal analysis of water and soil losses from erosion plots: A case

study under subtropical conditions in Santa Catarina highlands, Brazil. *Geoderma*, v.287, p.116-125, 2017.

BORRELLI, P.; ROBINSON, D.A.; FLEISCHER, L.R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B.; FERRO, V.; BAGARELLO, V.; OOST, K.V.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, *Nature Communications*, v.8, p.1-13, 2013.

CANTALICE, J.R.B.; SILVEIRA, F.P.M.; SINGH, V.P.; SILVA, Y.J.A.B.; CAVALCANTE, D.M.; GOMES, C. Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. *Catena*, v.148, p.111-116, 2017.

CARVALHO, D.F.; EDUARDO, E.N.; ALMEIDA, W.S.; SANTOS, L.A.F.; ALVES SOBRINHO, T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.1072-1078, 2015.

CERDÀ, A. JURGENSEN, M.F. Ant mounds as a source of sediment on citrus orchard plantations in eastern Spain. A three-scale rainfall simulation approach. *Catena*, v.85, p.231-236, 2011.

CERDÀ, A. Seasonal and spatial variations in infiltration rates in badland surfaces under mediterranean climatic conditions. *Water Resources Research*, v.35, p.319-328, 1999.

CERDÀ, A. Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. *Cuadernos de I. Geográfica*, v.25, p.45-84, 1999.

CERDÀ, A.; PROSDOCIMI, M.; ARNÁEZ, J.; LASANTA, T.; RAMOS, M.C.; MARQUÉS, M.J.; RUIZ COLMENERO, M.; BIENES, R.; RUIZ SINOGA, J.D.; SEEGER, M.; RIES, J.B. Soil erosion processes in European vineyards: a qualitative comparison of rainfall simulation measurements in Germany, Spain and France. *Hydrology*, v.3, p.6, 2016. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology3010006>.

CRUZ, E.S. Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo, 2006. 69p Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

ELLISON, W.D. Soil erosion studies - part I. *Agricultural Engineering*, v.28, p.145-146, 1947.

FAO e ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. (Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015).

FAO. FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. <http://faostat3.fao.org/> (acesso 01.08.18).

GARBIATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; TOMASINI, B.A.; BERGAMIN, A.C.; PANACHUKI, E. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.2145-2155, 2011.

GIBBS, H.K.; RUESCH, A.S.; ACHARD, F.; CLAYTON, M.K.; HOLMGREN, P.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J.A. Tropical forests were the primary sources of new

agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.107, p.16732-16737, 2010.

GOEBES, P.; SEITZ, S.; GEISLER, C.; LASSU, T.; PETERS, P.; SEEGER, M.; NADROWSKI, K.; SCHOLTEN, T. Momentum or kinetic energy - How do substrate properties influence the calculation of rainfall erosivity? *Journal of Hydrology*, v.517 p.310-316, 2014.

HE, J.; SUN, L.; GONG, H.; CAI, Q. Laboratory studies on the influence of rainfall pattern on rill erosion and its runoff and sediment characteristics. *Land Degradation e Development*, v.28, 1615-1625, 2017.

ISERLOH, T.; FISTER, W.; SEEGER, M.; WILLGER, H.; RIES, J.B. A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil e Tillage Research*, v.124, p.131-137, 2012.

ISERLOH, T.; RIES, J.B.; ARNÁEZ, J.; BOIX-FAYOS, C.; BUTZEN, V.; CERDÀ, A.; ECHEVERRÍA, M.T.; FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J.; FISTER, W.; GEIBLER, C.; GÓMEZ, J.A.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; KUHN, N.J.; LÁZARO, R.; LEÓN, F.J.; MARTÍNEZ-MENA, M.; MARTÍNEZ-MURILLO, J.F.; MARZEN, M.; MINGORANCE, M.D.; ORTIGOSA, L.; PETERS, P.; REGÚÉS, D.; RUIZ-SINOGA, J.D.; SCHOLTEN, T.; SEEGER, M.; SOLÉ-BENET, A.; WENGEL, R.; WIRTZ, S. European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. *Catena*, v.110, p.100-112, 2013.

KATEBIKORD, A.; DARVISHAN, A.K.; ALAVI, S.J. Changeability of soil erosion variables in small field plots from different rainfall durations with constant intensity. *Journal of African Earth Sciences*, v.129, p.751-758, 2017.

KAVIAN, A.; MOHAMMAD, M.; CERDÀ, A.; FALLAH, M.; ABDOLLAHI, Z. Simulated raindrop's characteristic measurements. A new approach of image processing tested under laboratory rainfall simulation. *Catena*, v.167, p.190-197, 2018.

KEESSTRA, S.D.; BOUMA, J. WALLINGA, J.; TITTONELL, P.; SMITH, P.; CERDÀ, A.; MONTANARELLA, L.; QUINTON, J.N.; PACHEPSKY, Y.; VAN DER PUTTEN, W.H.; BARDGETT, R.D.; MOOLENAAR, S.; MOLI, G.; JANSEN, B.; FRESCO, L.O. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*, v.2, p.111-128, 2016.

KHAN, M.N.; GONG, Y.; HU, T.; LAL, R.; ZHENG, J.; JUSTINE, M.F.; AZHAR, M.; CHE, M.; ZHANG, H. Effect of slope, rainfall intensity and mulch on erosion and infiltration under simulated rain on purple soil of south-western Sichuan Province, China. *Water*, v.8, p.528, 2016. doi:10.3390/w8110528

KINNELL, P.I.A. A review of the design and operation of runoff and soil loss plots. *Catena*, v.145, p.257-265, 2016.

KINNELL, P.I.A. Raindrop-induced saltation and the enrichment of sediment discharged from sheet and interrill erosion areas. *Hydrological Processes*, v.26, p.1449-1456, 2012.

LASSU, T.; SEEGER, M.; PETERS, P.; KEESSTRA, S.D. The Wageningen rainfall simulator: setup and calibration of an indoor nozzle type rainfall simulator for soil erosion studies. *Land Degradation e Development*, v.26, p.604-612, 2015.

LI, C.; PAN, C. The relative importance of different grass components in controlling runoff and erosion on a hillslope under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*, v.558, p.90-103, 2018.

- MARTÍNEZ-MURILLO, J.F.; NADAL-ROMERO, E.; REGÜÉS, D.; CERDÀ, A.; POESEN, J. Soil erosion and hydrology of the western Mediterranean badlands throughout rainfall simulation experiments: a review. *Catena*, v.106, p.101-112, 2013.
- MATHYS, N.; KLOTZ, S.; ESTEVES, M.; DESCROIX, L.; LAPETITE, J. M. Runoff and erosion in the Black Marls of the French Alps: observations and measurements at the plot scale. *Catena*, v.63, p.261-281, 2005.
- MAYERHOFER, C.; MEIBL, G.; KLEBINDER, K.; KOHL, B.; MARKART, G. Comparison of the results of a small-plot and a large-plot rainfall simulator-Effects of land use and land cover on surface runoff in Alpine catchments. *Catena*, v.156, p.184-196, 2017.
- MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P.G. The expansion of Brazilian agriculture: soil erosion scenarios. *International Soil and Water Conservation Research*, v.1, p.37-48, 2013.
- MONTGOMERY, D.R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.104, p.13268-13272, 2007.
- MORAES, A.G.L.; CARVALHO, D.F.; ANTUNES, M.A.H.; CEDDIA, M.B. Relationship between remote sensing data and field-observed interrill erosion. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.53, p.332-341, 2018.
- OLIVEIRA, P.T.S.; NEARING, M.A.; WENDLAND, E.C. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.40, p.1524-1532, 2015b.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.C.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: a review. *Catena*, v.100, p.139-147, 2012.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.C.; NEARING, M.A.; SCOTT, R.L.; ROSOLEM, R.; DA ROCHA, H.R. The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. *Hydrological Earth System Science*, v.19, p.2899-2910, 2015c.
- OLIVEIRA, S.P.; LACERDA, N.B.; BLUM, S.C.; ESCOBAR, M.E.O.; OLIVEIRA, T.S. Organic carbon and nitrogen stocks in soils of Northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. *Land Degradation e Development*, v.26, p.9-21, 2015a.
- PAN, C.Z.; SHANGGUAN, Z.P. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions. *Journal of Hydrology*, v.331, 178-185, 2006.
- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A.; URCHEI, M.A. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.443-451, 2010.
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.261-268, 2006a.
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.28, p.129-137, 2006b.

- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1777-1785, 2011.
- PANACHUKI, E.; SANTOS, M.A.N.; PAVEI, D.S.; ALVES SOBRINHO, T.; CAMACHO, M.A.; MONTANARI, R. Soil and water loss in Ultisol of the Cerrado-Pantanal Ecotone under different management systems. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, p.926-932, 2015.
- PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; YU, B.; KLIK, A.; LIM, K.J.; YANG, J.E.; NI, J.; MIAO, C.; CHATTOPADHYAY, N.; SADEGHI, S.H.; HAZBAVI, Z.; ZABIHI, M.; LARIONOV, G.A.; KRASNOV, S.F.; GOROBETS, A.V.; LEVI, Y.; ERPUL, G.; BIRKEL, C.; HOYOS, N.; NAIPAL, V.; OLIVEIRA, P.T.S.; BONILLA, C.A.; MEDDI, M.; NEL, W.; DASHTI, H.A.; BONIL, M.; DIODATO, N.; OOST, K.V.; NEARING, M.; BALLABIO, C. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, v.7, p.4175, 2017.
- PARSONS, A.J.; STONE, P.M. Effects of intra-storm variations in rainfall intensity on interrill runoff and erosion. *Catena*, v.67, p.68-78, 2006.
- PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, v.3, p.443-463, 2013.
- RAN, Q.; SU, D.; LI, P.; HE, Z. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. *Journal of Hydrology*, v.424-425, 99-111, 2012.
- ROBINSON, D.A.; PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; JONES, J.; MONTANARELLA, L.; TYE, A.; OBST, C.G. Soil natural capital in Europe; a framework for state and change assessment. *Scientific Reports*, v.7, p.6706, 2017.
- SANTOS, M.A.N.; PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Water infiltration in an Ultisol after cultivation of common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1143-1152, 2014.
- SANTOS, T.E.M.; EDIVAN, R.S.; ABELARDO, A.A.M. Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.513-518, 2016.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, v.30, p.507-512, 1974.
- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v.52, p.591-611, 1965.
- SILVA, C.G.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.144-153, 2005.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. (eds.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. 573p
- VAEZI, A.R.; AHMADI, M.; CERDÀ, A. Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. *Science of the Total Environment*, v.583, p.382-392, 2017.

VALIM, W.C.; PANACHUKI, E.; PAVEL, D.S.; ALVES SOBRINHO, T.; ALMEIDA, W.S. Effect of sugarcane waste in the control of interrill erosion. *Semina: Ciências Agrárias*, v.37, p.1155-1164, 2016.

VARELLA, C.A.A.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M.; SENA JÚNIOR, D.G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.225-9, 2002.

WANG, B.; STEINER, J.; ZHENG, F.; GOWDA, P. Impact of rainfall pattern on interrill erosion process. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 42, p.1833-1846, 2017.

WANG, L.; SHI, Z.H.; WANG, J.; FANG, N.F.; WU, G.L.; ZHANG, H.Y. Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: a case study of clay loam soil from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, v.512, p.168-176, 2014.

WANG, X.; ZHAO, X.; ZHANG, Z.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.; HU, S.; LIU, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. *Catena*, v.137, p.256-268, 2016.

WOHL, E.; BARROS, A.; BRUNSELL, N.; CHAPPELL, N.A.; COE, M.; GIAMBELLUCA, T.; GOLDSMITH, S.; HARMON, R.; HENDRICKX, J.M.H.; JUVIK, J.; MCDONNELL, J.; OGDEN, F. The hydrology of the humid tropics. *Nature Climate Change*, v.2, p.655-662, 2012.

WU, X.; WEI, Y.; WANG, J.; CAI, C.; DENG, Y.; XIA, J. RUSLE erodibility of heavy textured soils as affected by soil type, erosional degradation, and rainfall intensity: A field simulation. *Land Degradation e Development*, v.29, p.408-421, 2018a.

WU, X.; WEI, Y.; WANG, J.; XIA, J.; CAI, C.; WEI, Z. Effects of soil type and rainfall intensity on sheet erosion processes and sediment characteristics along the climatic gradient in central-south China. *Science of the Total Environment*, v.621, p.54-66, 2018b.

YEOMANS, J.C. e BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZHANG, X.C.; WANG, Z.L. Interrill soil erosion processes on steep slopes. *Journal of Hydrology*, v.548, p.652-664, 2017.

ZHAO, L.; HOU, R.; WUB, F.; KEESSTRA, S. Effect of soil surface roughness on infiltration water, ponding and runoff on tilled soils under rainfall simulation experiments. *Soil e Tillage Research*, v.179, p.47-53, 2018.

4. CAPÍTULO III

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E AJUSTE DE MODELOS PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE INFILTRAÇÃO

4.1 RESUMO

A infiltração de água no solo é um importante processo do ciclo hidrológico, o que o torna componente chave para compreensão da erosão hídrica. O objetivo deste estudo foi avaliar a infiltração de água, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, determinada com o infiltrômetro de aspersão (InfiAsper) e com o infiltrômetro de anéis concêntricos (Anel), com diferentes durações, e verificar o ajuste dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip na estimativa da taxa de infiltração a partir dos dados coletados em campo. No experimento 1 (agosto a setembro de 2017), os testes foram realizados após o preparo do solo em área sem cobertura vegetal, e foi possível constatar que as taxas de infiltração estáveis (TIE) variaram de 21,50 a 59,88 mm h⁻¹, respectivamente nas durações de 106 min do InfiAsper e 120 min do Anel, resultando em uma relação Anel/InfiAsper de 2,87. O ajuste dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip foi semelhante dentro do mesmo tratamento, sendo observados ajustes menos satisfatórios para os dados obtidos com os anéis concêntricos. No experimento 2 (março de 2018), o solo da área experimental estava coberto com a palhada remanescente ao cultivo do milho, sendo verificado que as TIE variaram de 6,00 a 29,20 mm h⁻¹, respectivamente nas durações de 60 e 78 min do Anel. As TIEs quantificadas com o InfiAsper são iguais entre si e à TIE 29,20 mm h⁻¹, medida com o Anel. A maior relação Anel/InfiAsper para a TIE foi de 1,60 na duração 78 min. O ajuste dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip foi semelhante considerando o mesmo tratamento, todavia os ajustes mais satisfatórios foram observados para as taxas de infiltração obtidas com o InfiAsper. Não houve ajuste do modelo de Horton às taxas obtidas com o Anel e na duração 106 min do InfiAsper. Na condição de solo revolvido e sem cobertura vegetal, a infiltração avaliada com os anéis concêntricos é maior que aquela medida com o infiltrômetro de aspersão. Na condição de solo coberto, a TIE quantificada com os anéis concêntricos com durações de 60 e 106 min é menor que nos demais tratamentos. Portanto, diante dos resultados obtidos pode-se concluir que independentemente da condição de cobertura do solo, maior variabilidade das taxas de infiltração estimadas pelos modelos ocorre nos tratamentos com anéis concêntricos.

Palavras-chave: Taxa de Infiltração Estável. Modelo de Horton. Modelo de Kostiakov-Lewis e Modelo de Philip.

4.2 ABSTRACT

The soil water infiltration is an important process of the hydrological cycle, which makes it a key component for understanding water erosion. The objective of this study was to evaluate the infiltration of water in the Red-Yellow Dystrophic Ultisol, determined with the sprinkler infiltrometer (InfiAsper) and the infiltrometer of concentric rings (Ring), with different durations, and verify the fit of the Kostiakov-Lewis, Horton and Philip models in estimating the rate of infiltration from the data collected in the field. In the experiment 1 (August to September, 2017), the tests were performed after the soil preparation in the area of bare soil, and it was possible to verify that the stable infiltration rates (TIE) ranged from 21.50 to 59.88 mm h^{-1} , respectively in the 106 min of the InfiAsper and 120 min of the Ring, resulting in a Ring/InfiAsper ratio of 2.87. The fit of the Kostiakov-Lewis, Horton and Philip models was similar within the same treatment, with less satisfactory adjustments to the data obtained with the concentric rings. In the experiment 2 (March, 2018), the soil of the experimental area was covered with the straw remaining to the maize crop, and it was verified that the TIE ranged from 6.00 to 29.20 mm h^{-1} , respectively, in the durations of 60 and 78 min of Ring. The TIE quantified with the InfiAsper are equal to each other and to the TIE 29.20 mm h^{-1} , measured with the Ring. The highest Ring/InfiAsper ratio for the TIE was 1.60 in duration 78 min. The fit of the Kostiakov-Lewis, Horton and Philip models was similar considering the same treatment, however the most satisfactory adjustments were observed for infiltration rates obtained with the InfiAsper. There was no adjustment of the Horton model at the rates obtained with the Ring and the duration of the InfiAsper 106 min. In the condition of upturned soil and without vegetation cover, the infiltration evaluated with the concentric rings is larger than that measured with the spray infiltrometer. In the covered soil condition, the TIE quantified with the Ring with durations of 60 and 106 min is lower than in the other treatments. Therefore, in view of the obtained results, it can be concluded that, regardless of the soil cover condition, higher variability of the infiltration rates estimated by the models occurs in the treatments with concentric Ring.

Key words: Stable Infiltration Rate. Horton Model. Kostiakov-Lewis Model and Philip Model.

4.3 INTRODUÇÃO

A infiltração de água no solo é um importante componente hidrológico em superfície e subsuperfície além de ser parâmetro chave nas simulações de processos hidrológicos (Bagarello et al., 2014; Oliveira et al., 2015c; Hu et al., 2018). A infiltração é responsável por transformar a precipitação e as águas superficiais em conteúdo de água no solo e em água subterrânea através da interface atmosfera-solo (Li e Fan 2006). A estimativa da suscetibilidade do solo à erosão hídrica pode ser feita avaliando a capacidade de infiltração do solo, devido à relação inversa entre o volume da água infiltrada e a produção de sedimentos (Sidiras e Roth, 1987).

O método mais utilizado para estimativa das taxas de infiltração de água no solo é o infiltrômetro de anéis concêntricos. Contudo, os resultados obtidos muitas vezes são contraditórios se comparados aqueles obtidos de parcelas experimentais de erosão (Sidiras et al., 1982; Sidiras & Vieira, 1984). Além disso, as taxas de infiltração estimadas com os infiltrômetros de aspersão (simulador de chuvas) podem ser mais adequadas (Sidiras e Roth, 1987), devido à melhor representatividade na forma como a água é aspergida sobre o solo em formas de gotas. De outro modo, nos infiltrômetros de anéis é mantida uma lâmina de água sobre a superfície durante as medições, o que pode superestimar a infiltração de água no solo em condições de chuva (Sidiras & Roth, 1987; Pott & Di Maria, 2003).

A infiltração de água é influenciada por resíduos vegetais e/ou vegetação na superfície do solo (Derpsch et al., 2014; Martinez-Hernandez et al., 2017; Rodrigo Comino et al., 2017), pela estrutura e porosidade, teor de matéria orgânica, conteúdo de água no solo, rugosidade superficial e textura do solo (Santos et al., 2014; Panachuki et al., 2006b; Carvalho et al., 2015; Almeida et al., 2018).

Embora as discussões sobre a influência do método de quantificação na infiltração de água sejam estudadas há anos, na literatura ainda são poucos os estudos comparando a infiltração sob diferentes usos da terra (Oliveira et al., 2015c; Almeida et al., 2018) e as taxas de infiltração estáveis obtidas com infiltrômetros de aspersão e de anéis concêntricos.

Portanto, a hipótese neste estudo é que a infiltração de água no solo difere em função do método de avaliação. Os objetivos foram avaliar a infiltração de água com os infiltrômetros de aspersão e de anéis concêntricos em solo com presença e ausência de palhada de milho, e ajustar os modelos de Kostikov-Lewis, Horton e Philip às taxas de infiltração de água observadas a campo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Caracterização da Área Experimental

A área experimental foi descrita no capítulo anterior.

4.4.2 Tratamentos e Delineamento Experimental

Para a estimativa da infiltração de água no solo foi utilizado o infiltrômetro de anéis concêntricos e o infiltrômetro de aspersão (simulador de chuvas) (Alves Sobrinho et al., 2008). O infiltrômetro de aspersão foi descrito no capítulo anterior e tem sido utilizado para estimativa da infiltração de água em diversos sistemas de manejo do solo (Alves Sobrinho et al., 2003; Panachuki et al., 2006b; Tomasini et al., 2010; Santos et al., 2014; Valim et al., 2016; Almeida et al., 2018).

Foram conduzidos dois experimentos a campo. No experimento 1, de agosto a setembro de 2017, a infiltração foi medida em solo após revolvimento e sem cobertura vegetal em superfície. Com o infiltrômetro de aspersão (InfiAsper), a infiltração de água foi estimada considerando as durações 106 min, 78 min e 60 min (tratamentos IP 44,6 mm h⁻¹; IP 53,5 mm h⁻¹ e 60,4 mm h⁻¹ descritos no capítulo anterior) e com o infiltrômetro de anéis concêntricos (Anéis) o tempo médio de duração da medição foi de 120 min. Neste experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e cinco repetições em cada tratamento.

No experimento 2, conduzido em março de 2018, a infiltração foi medida em solo sem revolvimento e com palhada de milho disposta em superfície, após a colheita da cultura. Neste experimento, a infiltração foi estimada simultaneamente com o infiltrômetro de anéis concêntricos (Anéis) e com o infiltrômetro de aspersão (InfiAsper) considerando as durações 106 min, 78 min e 60 min. Assim, os tratamentos foram: InfiAsper 106 min, InfiAsper 78 min e InfiAsper 60 min; e Anéis 106 min, Anéis 78 min e Anéis 60 min. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos e cinco repetições em cada tratamento, devido à variabilidade dos atributos físicos de solo e à possibilidade da alteração do fluxo de água no solo ocasionado pela declividade do terreno (0,09 m m⁻¹).

4.4.3 Medição da Infiltração de Água no Solo

Para estimativa da infiltração de água no solo com o InfiAsper foram utilizados os volumes de água medidos a cada minuto na calha coletora, após início do escoamento superficial. Em seguida, a lâmina de escoamento superficial (LES) foi obtida por meio da relação entre o volume de água escoado e a área da parcela experimental (0,7m²). A lâmina de água infiltrada foi calculada por meio da diferença entre a lâmina aplicada pelo simulador e a LES. Finalmente, a taxa de infiltração de água no solo foi estimada pela relação da lâmina de água infiltrada e o intervalo de tempo de coleta considerado.

Durante cada teste com o infiltrômetro de anéis concêntricos, a cada 5 min era feita leitura da altura da lâmina de água em uma fita métrica instalada na lateral do reservatório de água que abastecia automaticamente o anel interno por meio de um nível (boia) (Figura 10). Para cada teste, foi calculada a lâmina de água infiltrada por meio da diferença entre os valores anotados a cada 5 min. A taxa de infiltração foi estimada por meio da divisão da lâmina infiltrada pelo intervalo de tempo correspondente.



Figura 10. Infiltrômetro de anéis concêntricos e reservatório de água, durante avaliação a campo. (Fonte: arquivo pessoal do autor).

4.4.4 Modelos para Estimativa da Taxa de Infiltração de Água no Solo

Os modelos de Kostiakov-Lewis (Kostiakov, 1932; Lewis, 1937) (Equação 12), Horton (Horton, 1933, 1939) (Equação 13) e Philip (Philip, 1957, 1969) (Equação 14) foram ajustados aos valores de taxa de infiltração observados nas avaliações a campo em função do tempo correspondente.

$$i = i_f + \alpha k t^{\alpha-1} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$i = i_f + (i_o - i_f) e^{-\beta t} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$i = b + \frac{1}{2} k t^{-0,5} \quad (\text{Eq. 14})$$

em que i é a taxa de infiltração instantânea estimada (mm h^{-1}), i_o e i_f são as taxas de infiltração inicial e estável observadas (mm h^{-1}) e t é o tempo (min). Os parâmetros dos modelos (α , β , b e k) foram estimados por regressão não linear utilizando-se o método de Gauss-Newton, no qual minimiza-se a soma dos quadrados dos desvios em relação aos valores de taxa de infiltração observados. A estimativa desses parâmetros foi feita no software DataFit (versão demonstrativa 9.1).

Conforme sugerido por Moriasi et al. (2007) e Chai & Draxler (2014), o ajuste dos modelos foi verificado por meio dos seguintes índices estatísticos: raiz quadrada do erro médio (RMSE) (Equação 15), eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) (Nash & Sutcliffe, 1970) (Equação 16), coeficiente de correlação (R) e desvio padrão das observações (RSR) (Equação 17), calculado pela razão entre o RMSE e o desvio padrão das taxas de infiltração observadas.

$$\text{RMSE} = \left[\frac{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiest})^2}{n} \right] \quad (\text{Eq. 15}) \quad \text{NSE} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiest})^2}{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiom})^2} \right] \quad (\text{Eq. 16})$$

$$\text{RSR} = \frac{\left[\sqrt{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiest})^2} \right]}{\left[\sqrt{\sum_{i=0}^n (\text{Tiobs} - \text{Tiom})^2} \right]} \quad (\text{Eq. 17})$$

em que Tiob - é a taxa de infiltração observada, Tiest - taxa de infiltração estimada, n - número de observações e Tiom - média aritmética da taxa de infiltração observada.

Para o índice RMSE, o valor 0 indica ajuste perfeito. Por sua vez, o NSE varia de $-\infty$ a 1, e o 1 representa o melhor ajuste. Os valores de 0 a 1 representam desempenho aceitável e aqueles menores que 0 indicam desempenho inaceitável (Nash & Sutcliffe, 1970; Moriasi et al., 2007). O coeficiente de correlação (R) expressa o grau de relação linear entre dados observados e dados estimados e varia de -1 a 1. Se R = 0, não existe relação linear. Se R = 1 ou -1, existe relação linear positiva ou negativa perfeita. Finalmente, o RSR varia de 0 (melhor ajuste), que indica variação residual (RMSE) zero e, portanto, perfeita estimativa pelo modelo, para um valor positivo grande. Quanto menor o RSR, menor o RMSE e melhor o desempenho do modelo na estimativa dos dados (Moriasi et al., 2007).

4.4.5 Análise Estatística

Para as análises estatísticas foi utilizado o ambiente computacional R versão 3.5.1 (R Core Team, 2018). A normalidade e a homogeneidade dos resíduos foram verificadas, respectivamente, pelos testes de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) e de Bartlett (Bartlett, 1937). Para a homogeneidade também foi utilizado o teste de Brown-Forsyth (Brown-Forsyth, 1974), quando não constatada homogeneidade pelo teste de Bartlett. Para atender às pressuposições, os dados de taxa de infiltração e taxa de infiltração estável foram transformados usando a função Log. No experimento 1, a probabilidade calculada para a normalidade e a homogeneidade da taxa de infiltração estável foram, respectivamente iguais a p-valor= 0,7713 e p-valor= 0,0998. No experimento 2, a probabilidade calculada para a normalidade e a homogeneidade da taxa de infiltração foram, respectivamente iguais a p-valor= 0,1929 e p-valor= 0,16 (teste de Brown-Forsyth); e para a taxa de infiltração estável foram iguais a p-valor= 0,17 e p-valor= 0,3551. Atendidas as pressuposições, as diferenças entre os tratamentos foram verificadas por meio de análise de variância (teste F, $p < 0,05$) considerando o delineamento inteiramente casualizado (experimento 1) e em blocos casualizados (experimento 2), com cinco repetições em cada tratamento. Quando constatada diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo algoritmo hierárquico de agrupamento de Scott-Knott (Scott e Knott, 1974), considerando o nível de significância de 5%.

O desempenho dos modelos de Kostikov-Lewis, Horton e Philip na estimativa das taxas de infiltração de água foi verificado por meio dos índices estatísticos: coeficiente de correlação (R), raiz quadrada do erro médio (RMSE), eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e desvio padrão das observações (RSR).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Taxa de Infiltração de Água no Solo

4.5.1.1 Experimento 1

A variação da taxa de infiltração de água no solo foi semelhante nos testes de distintas durações com o infiltrômetro de aspersão, principalmente para as durações de 78 e 60 min. Após o início do escoamento em superfície, a infiltração de água no solo decresce rapidamente, sobretudo nos 10 min iniciais e a variação se mantém baixa até o final dos testes. De outro modo, a infiltração medida com o infiltrômetro de anéis concêntricos possui maior variação ao longo dos testes, sobretudo nos primeiros 50 minutos e dos 90 aos 115 min (Figura 11).

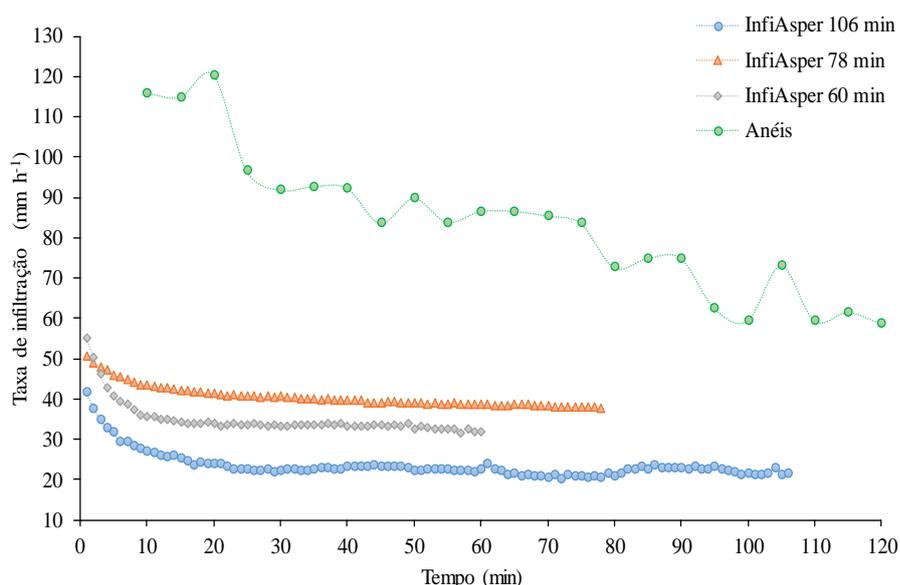


Figura 11. Infiltração de água no solo (mm h^{-1}) para os diferentes tratamentos, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sem cobertura vegetal

A taxa de infiltração estável (TIE) medida com o infiltrômetro de anéis difere estatisticamente e é maior em 64,1%, 37,0% e 47,4% que aquelas obtidas com o infiltrômetro de aspersão, respectivamente nas durações 106, 78 e 60 min. Por sua vez, TIE das durações 78 e 60 min são iguais e maiores que a TIE quantificada na duração 106 min, em média 44,76% (Tabela 13). A média geral da TIE dos tratamentos foi de $37,35 \text{ mm h}^{-1}$, o que representa taxas de infiltração muito altas (Bernardo, 2005), explicada dentre outros fatores pelo revolvimento do solo.

Tabela 13. Taxa de infiltração estável (TIE) em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sem cobertura em superfície medida com infiltrômetro de anéis (Anéis) e com infiltrômetro de aspersão (InfiAsper)

Tratamentos	TIE (mm h^{-1})	Relação Anéis/InfiAsper
InfiAsper 106 min	21,50 c	2,87
InfiAsper 78 min	37,73 b	1,58
InfiAsper 60 min	31,50 b	1,90
Anéis (120 min)	59,88 a	-
Média Geral	37,35	2,12
CV (%)	7,87	

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A maior TIE verificada com uso do infiltrômetro de anéis pode ser explicada pela carga hidráulica sobre o solo (lâmina de água de 5,0 cm), que favorece maior infiltração de água no solo, o que não ocorre com uso do infiltrômetro de aspersão. Além da carga hidráulica, os atributos físicos do solo (Tabela 8) como a porosidade, a densidade e a estabilidade dos agregados favorecem a infiltração de água. Além dos atributos físicos, a umidade antecedente aos testes foi maior no tratamento InfiAsper 106 min, o que também favorece a diminuição da infiltração de água, principalmente no início do processo.

Quanto às diferenças constatadas nas taxas de infiltração medida pelo infiltrômetro de aspersão pode-se mencionar que sob chuvas de longa duração o excesso de água contribui para escoamento ou para armazenamento nas depressões superficiais. Com o preenchimento dos macroporos conseqüentemente há diminuição da capacidade de infiltração de água. Em solos com textura média e/ou argilosa e sem cobertura vegetal em superfície a capacidade de infiltração é diminuída, ocasionando maior escoamento superficial e menores taxas de infiltração (Cerdà, 1999; Almeida et al., 2018; Zhao et al., 2018). Em áreas sem cobertura vegetal na superfície do solo, as taxas de infiltração estáveis geralmente são menores que aquelas de áreas com cobertura (Cerdà, 1999; Carvalho et al., 2015; Khan et al., 2016; Santos et al., 2016; Almeida et al., 2018; Zhao et al., 2018; Almeida et al., 2018).

Em avaliação de quatro métodos de estimativa da taxa de infiltração estável (infiltrômetro de aspersão, permeâmetro, infiltrômetro de tensão e infiltrômetro de pressão) Pott & Di Maria (2003) também constataram menores taxas estáveis com uso do infiltrômetro de aspersão. Sidiras & Roth (1987) também haviam constatado esse mesmo resultado em avaliação da infiltração de água em Latossolo no Estado do Paraná com infiltrômetro se aspersão e infiltrômetro de anéis. A relação média entre infiltrômetro de anéis e infiltrômetro de aspersão verificada pelos autores foi de 9,34, enquanto a relação observada neste estudo foi de 2,12 (Tabela 14).

4.5.1.2 Experimento 2

As taxas de infiltração quantificadas com o InfiAsper variaram pouco entre si, e semelhantes nos tratamentos com as maiores durações. O decréscimo mais acentuado das taxas ocorreu nos primeiros 25 a 30 min. De outra maneira, as taxas de infiltração obtidas com os Anéis possuem maior variação com incremento da duração durante os testes (Figura 12).

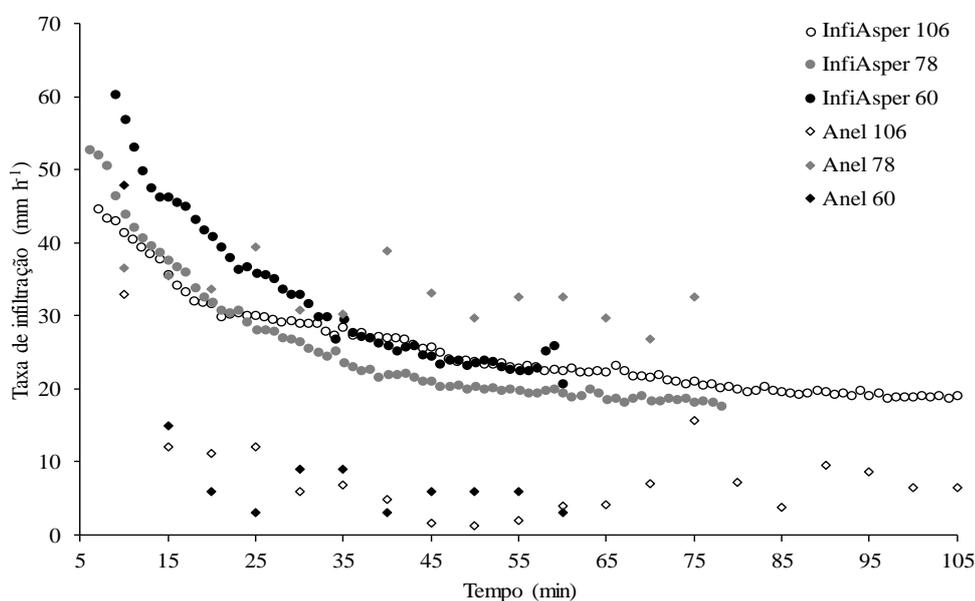


Figura 12. Infiltração de água no solo (mm h^{-1}) para os diferentes tratamentos, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sem cobertura vegetal

Foi constatada diferença entre as taxas de infiltração estáveis (TIE) obtidas com o infiltrômetro de anéis nas durações 60 e 106 min em relação aos demais tratamentos. A TIE média obtida com o infiltrômetro de anéis 106 e 60 min ($6,29 \text{ mm h}^{-1}$) é menor em 66,75%, 65,44%, 75,47% e 78,46% que a TIE dos tratamentos InfiAsper 106 min, InfiAsper 78 min, InfiAsper 60 min e Anéis 78 min, respectivamente (Tabela 14).

Tabela 14. Taxa de infiltração e taxa de infiltração estável em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico com palhada de milho em superfície e relação entre infiltrômetro de anéis (Anéis) e infiltrômetro de aspersão (InfiAsper)

Tratamentos	Taxa de infiltração (mm h^{-1}) ⁶⁰	Taxa de infiltração estável (mm h^{-1})	Relação Anéis/InfiAsper*
InfiAsper 106 min	22,57 a	18,92 a	0,35
InfiAsper 78 min	19,51 a	18,20 a	1,60
InfiAsper 60 min	25,45 a	25,64 a	0,23
Anéis 106 min	4,80 b	6,58 b	
Anéis 78 min	31,68 a	29,20 a	
Anéis 60 min	6,00 b	6,00 b	
Média Geral	18,33	17,42	0,73
CV (%)	25,22	38,06	

⁶⁰Taxa de infiltração no tempo 60 min, menor duração dos testes; *Calculada considerando a mesma duração para o infiltrômetro de anéis e de aspersão. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

As menores TIEs obtidas com o infiltrômetro de anéis possivelmente decorre do efeito da palhada de milho exercendo efeito de selamento na superfície do solo, pois essa cultura possui palhas cerosas, o que pode diminuir a infiltração da água no solo, e conseqüentemente aumentar o escoamento em superfície. Esse resultado também foi verificado pelo Professor Elói Panachuki em estudos de erosão e infiltração de água no solo no ecótono Cerrado-Pantanal, em Aquidauana - MS (resultados não publicados). Além disso, o resultado do presente estudo pode estar relacionado à própria variabilidade do solo associadas ao conteúdo de água no solo. Além disso, alguns testes foram feitos nas entrelinhas da cultura de milho, e talvez essas pequenas áreas poderiam ter sido compactadas devido ao pisoteio durante a realização de tratos culturais, como adubação de cobertura, colheita e corte das plantas de milho para deposição da palhada em superfície para a condução do estudo.

Em solos com textura média e/ou argilosa e com cobertura vegetal em superfície a capacidade de infiltração de água no solo é maior em comparação àquelas sem cobertura e conseqüentemente ocorre maior infiltração de água no solo (Cerdà, 1999; Almeida et al., 2018; Zhao et al., 2018). Ainda que o objetivo não seja comparar os dois experimentos, no presente estudo, as taxas de infiltração medidas no experimento 1 (solo sem cobertura vegetal) são maiores que as taxas de infiltração do solo com palhada de milho em superfície. Este resultado se deve ao fato de os testes do experimento 1 terem sido feitos imediatamente após o revolvimento do solo, que aumenta a porosidade do solo e por conseqüência a infiltração de água, embora esse efeito seja temporário (Carvalho et al., 2015; Almeida et al., 2018).

As taxas de infiltração estáveis quantificadas com o infiltrômetro de aspersão foram menores que aquelas obtidas com os anéis concêntricos (Pott & Di Maria, 2003; Sidiras & Roth, 1987). Sidiras & Roth (1987) também verificaram relação média entre taxas de

infiltração medida com os anéis concêntricos e com infiltrômetro de aspersão de 9,34 avaliando a infiltração de água em Latossolo Roxo Distrófico com diferentes coberturas vegetais em superfície. Essa relação é maior que a obtida no presente estudo sob em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico coberto com palhada de milho (Tabela 14).

4.5.2 Desempenho dos Modelos para Estimativa da Taxa de Infiltração

4.5.2.1 Experimento 1

O ajuste dos modelos às taxas de infiltração observadas a campo foi verificado por análise gráfica e pelos valores dos índices estatísticos apresentados na Tabela 15 e na Figura 13. Os melhores ajustes foram obtidos para as taxas de infiltração obtidas com o infiltrômetro de aspersão.

Tabela 15. Índices estatísticos dos diferentes modelos ajustados para a taxa de infiltração estimada versus a taxa de infiltração observada em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sem cobertura em superfície.

Tratamentos	Índices	Kostiakov-Lewis	Horton	Philip
InfiAsper 106 min	R	0,79	0,82	0,81
	RMSE	0,45	0,42	0,42
	NSE	0,99	-0,47	0,67
	RSR	0,10	0,58	0,58
InfiAsper 78 min	R	0,24	0,26	0,25
	RMSE	1,22	1,22	1,22
	NSE	0,06	-0,62	0,06
	RSR	0,97	0,97	0,97
InfiAsper 60 min	R	0,69	0,71	0,72
	RMSE	0,77	0,75	0,74
	NSE	0,49	0,96	0,52
	RSR	0,71	0,70	0,69
Infiltrômetro de anéis	R	0,24		0,24
	RMSE	5,20	*	5,21
	NSE	-1,23		-4,60
	RSR	1,49		2,37

*Sem ajuste do modelo de Horton aos dados de campo; R= coeficiente de correlação; RMSE= raiz quadrada do erro médio; NSE= eficiência de Nash-Sutcliffe; e RSR= razão entre o RMSE e o desvio padrão das taxas de infiltração observadas.

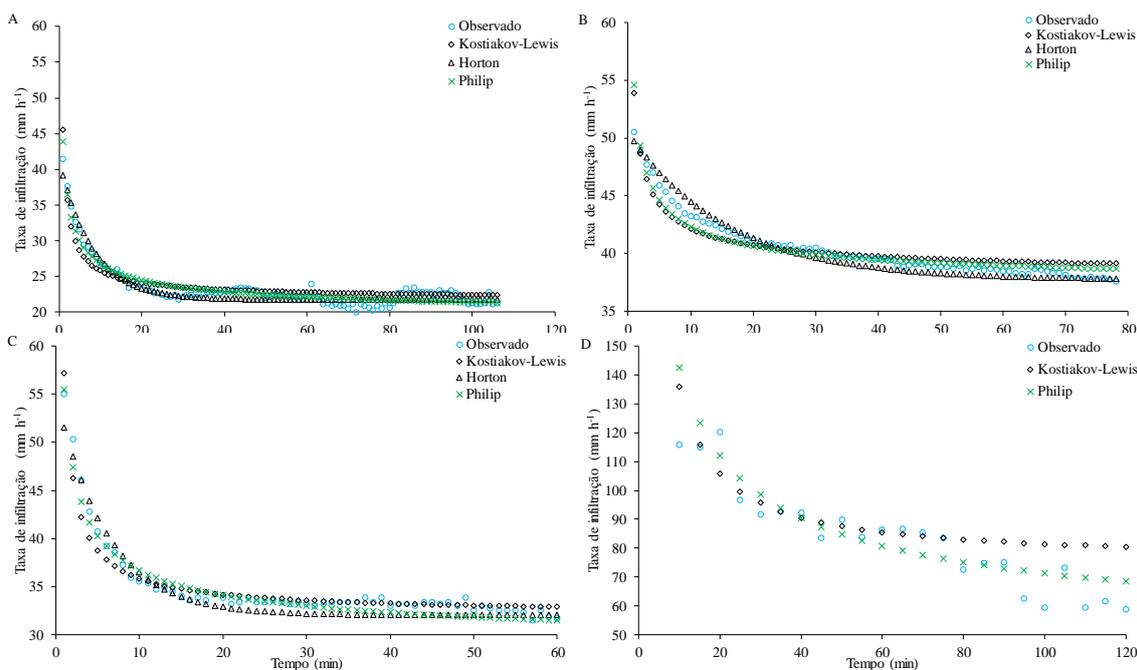


Figura 13. Taxas de infiltração de água observadas e estimadas pelos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip nos tratamentos InfiAsper 106 (A), InfiAsper 78 (B), InfiAsper 60 (C) e anéis concêntricos (D)

Os modelos de Horton e Philip possuem desempenho semelhante e superior ao de Kostiakov-Lewis no ajuste da taxa de infiltração obtida com o infiltrômetro de aspersão, conforme os índices estatísticos. Os piores valores do RMSE e de NSE foram verificados para o ajuste das taxas de infiltração obtidas com o infiltrômetro de anéis. Além disso foram constatados valores de NSE negativos para estimativa das taxas a partir de dados obtidos com os anéis concêntricos e para o modelo de Horton em InfiAsper 106 e InfiAsper 78, sendo inaceitáveis segundo Nash e Sutcliffe (1970).

Os maiores valores dos parâmetros dos modelos foram observados a partir dos dados das taxas de infiltração obtidas com os anéis concêntricos (Tabela 16).

Tabela 16. Parâmetros dos modelos para estimativa da taxa de infiltração de água em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sem cobertura em superfície

Modelos	Parâmetros	Dur 106	Dur 78	Dur 60	Anel
Kostiakov-Lewis	α	0.230641	0.436994	0.178197	0.001872
	k	103.275757	36.919379	141.257563	322405.548810
Horton	β	0.125207	0.063292	0.165069	*
Philip	b	18.932244	36.611376	27.956180	38.300981
	k	49.893042	36.055555	55.010014	659.279290

α , k , β e b são os parâmetros dos modelos obtidos por regressão não linear; *Sem ajuste ao modelo de Horton.

4.5.2.2 Experimento 2

De maneira geral foi observado melhor desempenho dos modelos na estimativa das taxas de infiltração obtidas a campo com o infiltrômetro de aspersão, conforme os índices estatísticos e análise visual das taxas observadas e estimadas (Tabela 17 e Figura 14). Por sua vez, o modelo de Horton não se ajustou às taxas de infiltração obtidas com os anéis concêntricos e nem às taxas obtidas com o infiltrômetro de aspersão com duração de 106 min, possivelmente em função da alta variabilidade da infiltração.

Tabela 17. Índices estatísticos dos diferentes modelos ajustados para a taxa de infiltração estimada versus a taxa de infiltração observada em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico com palhada de milho em superfície.

Tratamentos	Índices	Kostiakov-Lewis	Horton	Philip
InfiAsper 106 min	R	0.48		0.48
	RMSE	1.95	*	3.65
	NSE	0.23		-1.67
	RSR	0.88		1.63
InfiAsper 78 min	R	0.66	0.76	0.68
	RMSE	1.91	1.63	1.86
	NSE	0.43	0.59	0.46
	RSR	0.76	0.64	0.73
InfiAsper 60 min	R	0.51	0.60	0.54
	RMSE	2.68	2.50	2.63
	NSE	0.27	0.36	0.29
	RSR	0.86	0.80	0.84
Anéis 106 min	R	0.68		0.67
	RMSE	19.76	*	20.00
	NSE	0.47		0.45
	RSR	0.73		0.74
Anéis 78 min	R	0.59		0.57
	RMSE	14.74	*	14.92
	NSE	0.35		0.33
	RSR	0.81		0.82
Anéis 60 min	R	0.76		0.79
	RMSE	24.88	*	23.30
	NSE	0.57		0.63
	RSR	0.65		0.61

*Sem ajuste do modelo de Horton às taxas de infiltração observadas; R= coeficiente de correlação; RMSE= raiz quadrada do erro médio; NSE= eficiência de Nash-Sutcliffe; e RSR= razão entre o RMSE e o desvio padrão das taxas de infiltração observadas.

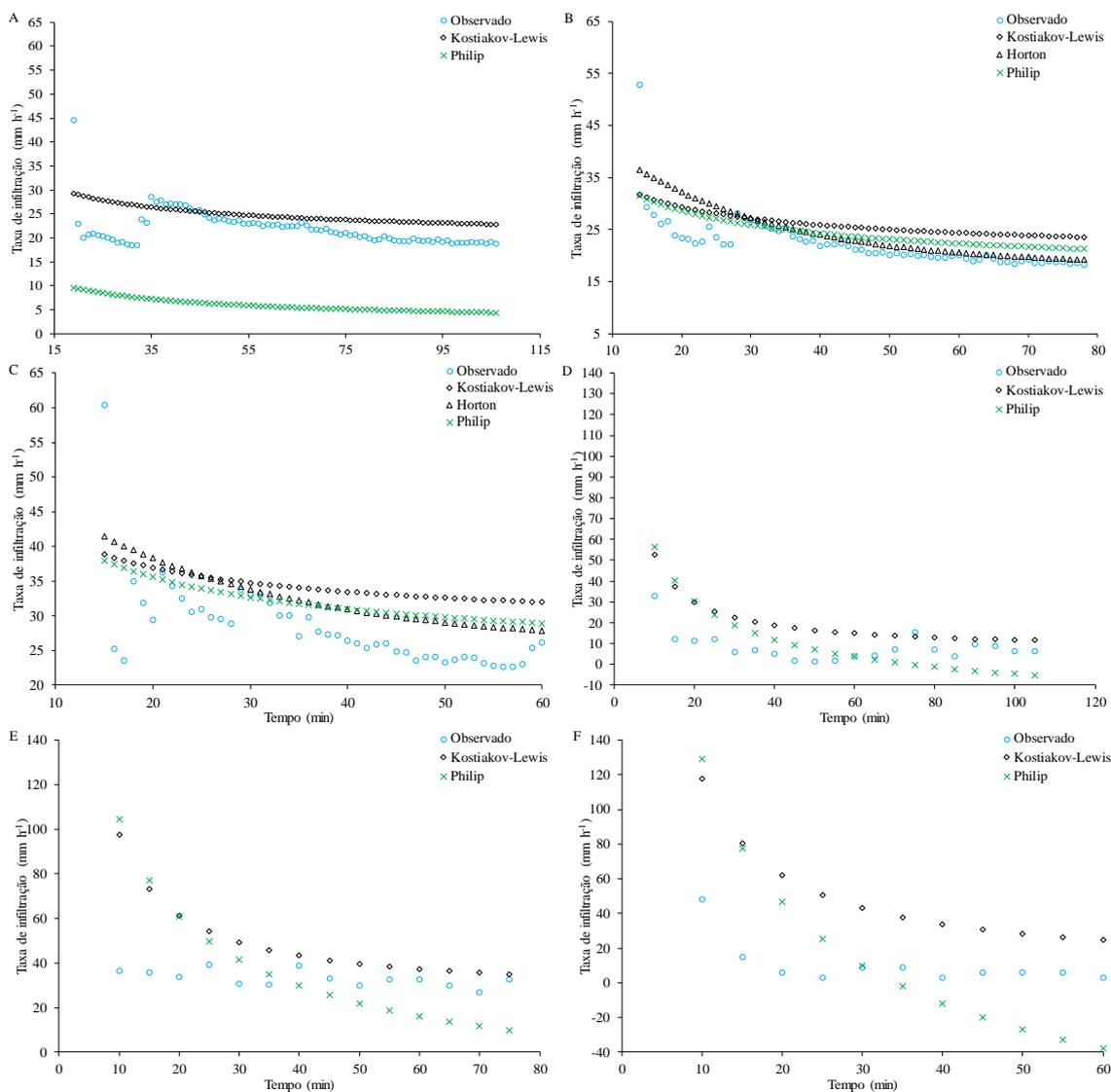


Figura 14. Taxas de infiltração de água observadas e estimadas pelos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip nos tratamentos InfiAsper 106 (A), InfiAsper 78 (B), InfiAsper 60 (C), anéis concêntricos 106 (D), anéis concêntricos 78 (E) e anéis concêntricos 60 (F)

Os modelos de Kostiakov-Lewis e Philip possuem desempenho semelhante para estimativa da taxa de infiltração a partir dos dados obtidos com os anéis concêntricos, conforme os valores de R, RMSE, NSE e RSR. Observando o RMSE verifica-se que os piores valores do RMSE e conseqüentemente a superestimativa das taxas de infiltração em média são de 19,88, 14,83 e 24,09 mm h⁻¹, respectivamente para as durações 106, 78 e 60 min dos anéis concêntricos. Esses altos valores de RMSE demonstram o efeito negativo da cobertura vegetal na estimativa da infiltração de água no solo (Shao e Baumgartl, 2016; Almeida et al., 2018). De maneira contrária ao observado nos dados dos anéis concêntricos, o RMSE para as taxas de infiltração com o InfiAsper é mais baixo e a superestimativa das taxas de infiltração em média são 2,8, 1,8 e 2,60 mm h⁻¹, respectivamente para as durações 106, 78 e 60 min.

Com relação ao NSE, constata-se que os valores são menores que 0,70, mas considerados aceitáveis por serem maiores que zero. Assim, o único valor inaceitável ocorreu no tratamento InfiAsper 106 min (-1,67). Por sua vez, o RSR possui valores semelhantes entre

os diferentes modelos considerando um mesmo tratamento. E de modo geral também são semelhantes entre os tratamentos.

A semelhança nos valores dos índices R, NSE, RMSE e RSR para os três modelos em um mesmo tratamento do infiltrômetro de aspersão deve-se à presença da palhada de milho na superfície do solo, pois a cobertura vegetal altera a infiltração de água no solo. Durante a chuva a cobertura sobre o solo intercepta a água e protege a superfície do solo contra o impacto das gotas (Panachuki et al., 2006; Santos et al., 2014; Carvalho et al., 2015; Shao e Baumgartl, 2016; Almeida et al., 2018) e também ao fato de que os modelos avaliados foram desenvolvidos principalmente para solos sem cobertura em superfície descobertos (Shao e Baumgartl, 2016).

De modo geral, os maiores valores dos parâmetros dos modelos foram observados a partir dos dados das taxas de infiltração obtidas com os anéis concêntricos. Esses parâmetros também aumentam nas maiores durações dos testes, conforme apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Parâmetros dos modelos para estimativa da taxa de infiltração de água em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico com palhada de milho em superfície

Modelos	Parâmetros	InfiAsper 106	InfiAsper 78	InfiAsper 60	Anéis 106	Anéis 78	Anéis 60
Kostiakov- Lewis	α	0.5590	0.4657	0.4638	0.000623	0.000929	0.000782
	k	79.1839	118.9225	121.0332	729327.1096	775667.7232	1424635.7137
Horton	β	*	0.044152	0.044069	*	*	*
Philip	b	0.5590	13.7486	19.8426	-32.9103	-44.7412	-153.0196
	k	79.1839	132.8523	140.5526	565.9713	942.8573	1784.8312

α , k , β e b são os parâmetros dos modelos obtidos por regressão não linear - método de Gauss-Newton.

4.6 CONCLUSÕES

Na condição de solo revolvido e sem cobertura vegetal, o infiltrômetro de anéis concêntricos produz maior taxa de infiltração de água no solo em comparação ao infiltrômetro de aspersão. Sob cobertura vegetal, a infiltração de água possui maior variabilidade e é igual àquela obtida com o infiltrômetro de anéis concêntricos com tempo de 78 min.

Independente da condição de cobertura do solo, a maior superestimativa das taxas de infiltração ocorre com obtidos com os anéis concêntricos e o desempenho dos modelos é semelhante, principalmente na condição na presença de cobertura sobre o solo.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUDI, I.; CARMÍ, G.; BERLINER, P. Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology*, v.454-455, p.76-81, 2012.
- ALMEIDA, W.S.; CARVALHO, D.F.; PANACHUKI, E.; VALIM, W.C.; RODRIGUES, S.A.; VARELLA, C.A.A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, 1110-1119, 2016.
- ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; SILVA, R.M.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil e Tillage Research*, v.175, p.130-138, 2018.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013.
- ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F.; AQUINO, R.M.; MONTEBELLER, C.A. Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetro de aspersão. *Engenharia Rural*, v.12, p.28-35, 2001.
- ALVES SOBRINHO, T.; MACPHERSON, H.G.; GÓMEZ, J.A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. *Soil Use and Management*, v.24, p.163-170, 2008.
- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D.F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.191-196, 2003.
- AMUNDSON, R.; BERHE, A.A.; HOPMANS, J.W.; OLSON, C.; SZTEIN, A.E.; SPARKS, D.L. Soil and human security in the 21st century. *Science*, v.348, 1261071. doi:10.1126/science.1261071
- AN, J.; ZHENG, F.L.; HAN, Y. Effects of rainstorm patterns on runoff and sediment yield processes. *Soil Science*, v.179, 293-303, 2014.
- ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E.C.; OLIVEIRA, P.T.S.; FLANAGAN, D.C.; NEARING, M.A. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience. *Catena*, v.152, p.29-39, 2017.
- ANGULO-MARTÍNEZ, M. E BARROS, A.P. Measurement uncertainty in rainfall kinetic energy and intensity relationships for soil erosion studies: an evaluation using PARSIVEL disdrometers in the Southern Appalachian Mountains. *Geomorphology*, v.228, p.28-40, 2015.
- ASSOULINE, S. Infiltration into soils: conceptual approaches and solutions. *Water Resources Research*, v.49, p.1-18, 2013.
- ASSOULINE, S.; BEN-HUR, M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, v.66, 211-220, 2006.
- BAGARELLO, V.; CASTELLINI, M.; PRIMA, D.; IOVINO, M. Soil hydraulic properties determined by infiltration experiments and different heights of water pouring. *Geoderma*, v.213, p.492-501, 2014.
- BAGARELLO, V.; FERRO, V. Scale effects on plot runoff and soil erosion in a Mediterranean environment. *Vadose Zone Journal*, v.16, 2017. doi:10.2136/vzj2017.03.0059

- BAKO, A.N.; DARBOUX, F.; JAMES, F.; JOSSERAND, C.; LUCAS, C. Pressure and shear stress caused by raindrop impact at the soil surface: scaling laws depending on the water depth. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.41, p.1199-1210, 2016.
- BARTLETT, M.S. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London*, v.160, 268-282, 1937.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. UFV, Viçosa, p. 611, 2005.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BANDEIRA, D.H.; PAZ-FERREIRO, J.; VÁZQUEZ, E.V. Multifractal and joint multifractal analysis of water and soil losses from erosion plots: A case study under subtropical conditions in Santa Catarina highlands, Brazil. *Geoderma*, v.287, 116-125, 2017.
- BORRELLI, P.; ROBINSON, D.A.; FLEISCHER, L.R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B.; FERRO, V.; BAGARELLO, V.; OOST, K.V.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, *Nature Communications*, v.8, p.1-13, 2013.
- BROWN, M.B.; FORSYTHE, A.B. Robust tests for equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, v.69, p.364-367, 1974.
- CANTALICE, J.R.B.; SILVEIRA, F.P.M.; SINGH, V.P.; SILVA, Y.J.A.B.; CAVALCANTE, D.M.; GOMES, C. Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. *Catena*, v.148, p.111-116, 2017.
- CARVALHO, D.F.; EDUARDO, E.N.; ALMEIDA, W.S.; SANTOS, L.A.F.; ALVES SOBRINHO, T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.1072-1078, 2015.
- CERDÀ, A. JURGENSEN, M.F. Ant mounds as a source of sediment on citrus orchard plantations in eastern Spain. A three-scale rainfall simulation approach. *Catena*, v.85, p.231-236, 2011.
- CERDÀ, A. Seasonal and spatial variations in infiltration rates in badland surfaces under mediterranean climatic conditions. *Water Resources Research*, v.35, p.319-328, 1999.
- CERDÀ, A. Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. *Cuadernos de I. Geográfica*, v.25, p.45-84, 1999.
- CERDÀ, A.; PROSDOCIMI, M.; ARNÁEZ, J.; LASANTA, T.; RAMOS, M.C.; MARQUÉS, M.J.; RUIZ COLMENERO, M.; BIENES, R.; RUIZ SINOGA, J.D.; SEEGER, M.; RIES, J.B. Soil erosion processes in European vineyards: a qualitative comparison of rainfall simulation measurements in Germany, Spain and France. *Hydrology*, v.3, P.6, 2016. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology3010006>.
- CHAI, T.; DRAXLER, R.R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, v.7, p.1247-1250, 2014.
- CRUZ, E.S. Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo, 2006. 69p Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

- DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A.J.; DUIKER, S.W.; REICOSKY, D.C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; STURNY, W.G.; SÁ, J.C.M.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil & Tillage Research*, v.137, p.16-22, 2014.
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies - part I. *Agricultural Engineering*, v.28, p.145-146, 1947.
- FAO e ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. (Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015).
- FAO. FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. <http://faostat3.fao.org/> (acesso 01.08.18).
- GIBBS, H.K.; RUESCH, A.S.; ACHARD, F.; CLAYTON, M.K.; HOLMGREN, P.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J.A. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.107, p.16732-16737, 2010.
- GOEBES, P.; SEITZ, S.; GEISLER, C.; LASSU, T.; PETERS, P.; SEEGER, M.; NADROWSKI, K.; SCHOLTEN, T. Momentum or kinetic energy - How do substrate properties influence the calculation of rainfall erosivity? *Journal of Hydrology*, v.517 p.310-316, 2014.
- HE, J.; SUN, L.; GONG, H.; CAI, Q. Laboratory studies on the influence of rainfall pattern on rill erosion and its runoff and sediment characteristics. *Land Degradation e Development*, v.28, 1615-1625, 2017.
- HORTON, R.E. Analysis of runoff plat experiments with varying infiltration capacity, 1939.
- HORTON, R.E. The role of infiltration in the hydrological cycle. *Trans. Am. Geophys. Union*, v.14, p.446-460, 1933.
- HU, G.; TIAN, L.; ZHAO, L.; WU, X.; LI, R.; WU, T.; ZHU, X.; DU, E.; WANG, Z.; HAO, J.; LI, W.; WANG, S. Soil infiltration processes of different underlying surfaces in the permafrost region on the Tibetan Plateau. *Hydrological Sciences Journal*, 2018.
- ISERLOH, T.; FISTER, W.; SEEGER, M.; WILLGER, H.; RIES, J.B. A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil e Tillage Research*, v.124, p.131-137, 2012.
- ISERLOH, T.; RIES, J.B.; ARNÁEZ, J.; BOIX-FAYOS, C.; BUTZEN, V.; CERDÀ, A.; ECHEVERRÍA, M.T.; FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J.; FISTER, W.; GEIBLER, C.; GÓMEZ, J.A.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; KUHN, N.J.; LÁZARO, R.; LEÓN, F.J.; MARTÍNEZ-MENA, M.; MARTÍNEZ-MURILLO, J.F.; MARZEN, M.; MINGORANCE, M.D.; ORTIGOSA, L.; PETERS, P.; REGÜÉS, D.; RUIZ-SINOGA, J.D.; SCHOLTEN, T.; SEEGER, M.; SOLÉ-BENET, A.; WENGEL, R.; WIRTZ, S. European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. *Catena*, v.110, p.100-112, 2013.
- KATEBIKORD, A.; DARVISHAN, A.K.; ALAVI, S.J. Changeability of soil erosion variables in small field plots from different rainfall durations with constant intensity. *Journal of African Earth Sciences*, v.129, p.751-758, 2017.
- KAVIAN, A.; MOHAMMAD, M.; CERDÀ, A.; FALLAH, M.; ABDOLLAHI, Z. Simulated raindrop's characteristic measurements. A new approach of image processing tested under laboratory rainfall simulation. *Catena*, v.167, p.190-197, 2018.

- KEESSTRA, S.D.; BOUMA, J. WALLINGA, J.; TITTONELL, P.; SMITH, P.; CERDÀ, A.; MONTANARELLA, L.; QUINTON, J.N.; PACHEPSKY, Y.; VAN DER PUTTEN, W.H.; BARDGETT, R.D.; MOOLENAAR, S.; MOLI, G.; JANSEN, B.; FRESCO, L.O. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*, v.2, p.111-128, 2016.
- KHAN, M.N.; GONG, Y.; HU, T.; LAL, R.; ZHENG, J.; JUSTINE, M.F.; AZHAR, M.; CHE, M.; ZHANG, H. Effect of Slope, Rainfall Intensity and Mulch on Erosion and Infiltration under Simulated Rain on Purple Soil of South-Western Sichuan Province, China. *Water*, v.8, p.528, 2016. doi:10.3390/w8110528
- KINNELL, P.I.A. A review of the design and operation of runoff and soil loss plots. *Catena*, v.145, 257-265, 2016.
- KINNELL, P.I.A. Raindrop-induced saltation and the enrichment of sediment discharged from sheet and interrill erosion areas. *Hydrological Processes*, v.26, p.1449-1456, 2012.
- KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Transactions of the Sixth Commission of the International Society of Soil Science, Part A (Moscow)*, p.17-21, 1932.
- LASSU, T.; SEEGER, M.; PETERS, P.; KEESSTRA, S.D. The Wageningen rainfall simulator: setup and calibration of an indoor nozzle type rainfall simulator for soil erosion studies. *Land Degradation e Development*, v.26, p.604-612, 2015.
- LEWIS, M.R. The rate of infiltration of water in irrigation practice. *Transactions of the American Geophysical Union*, v.18, p.361-368, 1937.
- LI, C.; PAN, C. The relative importance of different grass components in controlling runoff and erosion on a hillslope under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*, v.558, p.90-103, 2018.
- LI, X.Z. e FAN, G.S. Influence of organic matter content on infiltration capacity and parameter in field soils. *Nongye Gongcheng Xuebao (Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering)*, v.22 (3), p.188-190, 2006.
- MARTINEZ-HERNANDEZ, C.; RODRIGO-COMINO, J.; AND ROMERO-DIAZ, A. Impact of lithology and soil properties on abandoned dryland terraces during the early stages of soil erosion by water in southeast Spain. *Hydrological Processes*, v.31 (17), p.3095-3109, 2017.
- MARTÍNEZ-MURILLO, J.F.; NADAL-ROMERO, E.; REGÜÉS, D.; CERDÀ, A.; POESEN, J. Soil erosion and hydrology of the western Mediterranean badlands throughout rainfall simulation experiments: a review. *Catena*, v.106, p.101-112, 2013.
- MATHYS, N.; KLOTZ, S.; ESTEVES, M.; DESCROIX, L.; LAPETITE, J. M. Runoff and erosion in the Black Marls of the French Alps: observations and measurements at the plot scale. *Catena*, v.63, 261-281, 2005.
- MAYERHOFER, C.; MEIBL, G.; KLEBINDER, K.; KOHL, B.; MARKART, G. Comparison of the results of a small-plot and a large-plot rainfall simulator-Effects of land use and land cover on surface runoff in Alpine catchments. *Catena*, v.156, p.184-196, 2017.
- MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P.G. The expansion of Brazilian agriculture: soil erosion scenarios. *International Soil and Water Conservation Research*, v.1, p.37-48, 2013.

- MONTGOMERY, D.R. Soil erosion and agricultural sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v.104, p.13268-13272, 2007.
- MORAES, A.G.L.; CARVALHO, D.F.; ANTUNES, M.A.H.; CEDDIA, M.B. Relationship between remote sensing data and field-observed interrill erosion. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.53, p.332-341, 2018.
- MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions American Society of Agricultural and Biological Engineers, v.50, p.885-900, 2007.
- NASH, J.E. & SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models: part 1. A discussion of principles. Journal of Hydrology, v.10, p.282-290, 1970.
- OLIVEIRA, P.T.S.; NEARING, M.A.; WENDLAND, E.C. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. Earth Surface Processes and Landforms, v.40, p.1524-1532, 2015b.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.C.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: a review. Catena 100, 139-147, 2012.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.C.; NEARING, M.A.; SCOTT, R.L.; ROSOLEM, R.; DA ROCHA, H.R. The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. Hydrological Earth System Science, v.19, p.2899-2910, 2015c.
- OLIVEIRA, S.P.; LACERDA, N.B.; BLUM, S.C.; ESCOBAR, M.E.O.; OLIVEIRA, T.S. Organic carbon and nitrogen stocks in soils of Northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. Land Degradation e Development, v.26, p.9-21, 2015a.
- PAN, C.Z.; SHANGGUAN, Z.P. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions. Journal of Hydrology, v.331, 178-185, 2006.
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.261-268, 2006a.
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. Acta Scientiarum Agronomy, v.28, p.129-137, 2006b.
- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1777-1785, 2011.
- PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; YU, B.; KLIK, A.; LIM, K.J.; YANG, J.E.; NI, J.; MIAO, C.; CHATTOPADHYAY, N.; SADEGHI, S.H.; HAZBAVI, Z.; ZABIHI, M.; LARIONOV, G.A.; KRASNOV, S.F.; GOROBETS, A.V.; LEVI, Y.; ERPUL, G.; BIRKEL, C.; HOYOS, N.; NAIPAL, V.; OLIVEIRA, P.T.S.; BONILLA, C.A.; MEDDI, M.; NEL, W.; DASHTI, H.A.; BONIL, M.; DIODATO, N.; OOST, K.V.; NEARING, M.; BALLABIO, C. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. Scientific Reports, v.7, p.4175, 2017.

- PARSONS, A.J.; STONE, P.M. Effects of intra-storm variations in rainfall intensity on interrill runoff and erosion. *Catena*, v.67, p.68-78, 2006.
- PHILIP, J.R. The theory of infiltration Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Science*, v.84, p.257-264, 1957.
- PHILIP, J.R. Theory of infiltration. *Advances in Hydrosience*, v.5, p.215-296, 1969.
- PIMENTEL, D. e BURGESS, M. Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, v.3, p.443-463, 2013.
- POTT, C.A. e Di MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.19-27, 2003.
- R CORE TEAM, 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- RAN, Q.; SU, D.; LI, P.; HE, Z. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. *Journal of Hydrology*, v.424-425, 99-111, 2012.
- ROBINSON, D.A.; PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; JONES, J.; MONTANARELLA, L.; TYE, A.; OBST, C.G. Soil natural capital in Europe; a framework for state and change assessment. *Scientific Reports*, v.7: 6706, 2017.
- RODRIGO COMINO, J. BOGUNOVIC, I.; MOHAJERANI, H.; PEREIRA, P.; CERDÀ, A.; SINOGA, J.D.R.; RIES, J.B. The impact of vineyard abandonment on soil properties and hydrological processes. *Vadose Zone Journal*, v.16 (12), p.2-7, 2017.
- SANTOS, M.A.N.; PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Water infiltration in an Ultisol after cultivation of common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1143-1152, 2014.
- SANTOS, T.E.M.; EDIVAN, R.S.; ABELARDO, A.A.M. Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.513-518, 2016.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, v.30, p.507-512, 1974.
- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52, 591-611, 1965.
- SIDIRAS, N. e ROTH, C.H. Infiltration measurements with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol. *Soil & Tillage Research*, v.9, p.161-168, 1987.
- SIDIRAS, N. E VIEIRA, M.J. Behaviour of a dusky red Latosol Dystrophic (Oxisol) compacted by tractor wheels during sowing: yields of three crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.19, p.1285-1293, 1984.
- SIDIRAS, N., HENKLAIN, J.C. E DERPSCHE, R. Vergleich von drei Bodenbearbeitungsverfahren in Bezug auf einige physikalische Eigenschaften, Boden- und Wasserkonservierung und Erträge von Soja und Weizen auf einem Oxisol. *Zeits. Acker- und Pflanzenbau*, v.151, p.137-148, 1982.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. (eds.). Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. rev. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p

- TOMASINI, B.A.; VITORINO, A.C.T.; GARBIATE, M.V.; SOUZA, C.M.A.; ALVES SOBRINHO, T. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.1060-1070, 2010.
- VAEZI, A.R.; AHMADI, M.; CERDÀ, A. Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. *Science of the Total Environment*, v.583, p.382-392, 2017.
- VARELLA, C.A.A.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M.; SENA JÚNIOR, D.G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.225-9, 2002.
- WANG, B.; STEINER, J.; ZHENG, F.; GOWDA, P. Impact of rainfall pattern on interrill erosion process. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 42, p.1833-1846, 2017.
- WANG, L.; SHI, Z.H.; WANG, J.; FANG, N.F.; WU, G.L.; ZHANG, H.Y. Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: a case study of clay loam soil from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, v.512, p.168-176, 2014.
- WANG, X.; ZHAO, X.; ZHANG, Z.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.; HU, S.; LIU, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. *Catena*, v.137, p.256-268, 2016.
- WOHL, E.; BARROS, A.; BRUNSELL, N.; CHAPPELL, N.A.; COE, M.; GIAMBELLUCA, T.; GOLDSMITH, S.; HARMON, R.; HENDRICKX, J.M.H.; JUVIK, J.; MCDONNELL, J.; OGDEN, F. The hydrology of the humid tropics. *Nature Climate Change*, v.2, p.655-662, 2012.
- WU, X.; WEI, Y.; WANG, J.; CAI, C.; DENG, Y.; XIA, J. RUSLE erodibility of heavy textured soils as affected by soil type, erosional degradation, and rainfall intensity: A field simulation. *Land Degradation e Development*, v.29, p.408-421, 2018.
- WU, X.; WEI, Y.; WANG, J.; XIA, J.; CAI, C.; WEI, Z. Effects of soil type and rainfall intensity on sheet erosion processes and sediment characteristics along the climatic gradient in central-south China. *Science of the Total Environment*, v.621, p.54-66, 2018.
- YEOMANS, J.C. e BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.
- ZHAO, L.; HOU, R.; WUB, F.; KEESSTRA, S. Effect of soil surface roughness on infiltration water, ponding and runoff on tilled soils under rainfall simulation experiments. *Soil & Tillage Research*, v.179, p.47-53, 2018.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A erosão hídrica é o principal fator de degradação das terras em países sob clima tropical. Contudo, em muitas regiões ainda não se conhece o potencial erosivo por falta de registros pluviográficos ou dados de chuva com alta resolução temporal e a utilização de práticas inadequadas de manejo nos sistemas agrícolas intensificam o processo erosivo. Dessa maneira, para a estimativa do potencial erosivo das chuvas, das taxas de infiltração de água no solo, de escoamento superficial e da produção de sedimentos foram criadas metodologias que permitam obter as informações com o menor nível de erros possível.

No Estado do Rio de Janeiro as relações entre precipitações de diferentes durações são maiores nas mesorregiões do Sul Fluminense, Centro Fluminense e Metropolitana. Essas relações e as equações intensidade-duração-frequência possuem alta variabilidade entre as localidades.

Em solo sem cobertura em superfície, a erosão entressulcos é alterada por chuvas com mesma erosividade e diferentes durações e intensidades de precipitação. O inverso é constatado em solo protegido por palhada de milho em superfície.

A infiltração de água no solo varia principalmente por condições da superfície do solo como a presença de cobertura vegetal. As taxas de infiltração estáveis variam conforme o método de quantificação (infiltrômetro de anéis concêntricos ou infiltrômetro de aspersão) e a duração dos testes. Consequentemente, o desempenho dos modelos para estimativa das taxas de infiltração é alterado devido às condições da superfície do solo.

6. ANEXOS

Anexo 1. Relação entre a precipitação máxima de 5 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,50	0,55	0,61	0,65	0,67	0,69	0,61
	Rio Mole	0,38	0,42	0,46	0,48	0,50	0,50	0,46
II	Carmo	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,38	0,36
	Cordeiro	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,32
	Ilha dos Pombos	0,34	0,36	0,39	0,40	0,41	0,41	0,39
	Nova Friburgo	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,30
	Sta M ^a Madalena	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28
	Andorinhas	0,30	0,32	0,34	0,35	0,35	0,36	0,33
III	Cachoeiras Macacu	0,29	0,30	0,32	0,33	0,33	0,34	0,32
	Capela Mayrink	0,36	0,39	0,43	0,46	0,47	0,48	0,43
	Ecologia Agrícola	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,27
	Eletróbrás	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,34	0,32
	Escola União	0,31	0,33	0,35	0,36	0,36	0,37	0,35
	Faz. Coqueiro	0,32	0,34	0,37	0,38	0,39	0,39	0,37
	Faz. Sto Amaro	0,31	0,33	0,35	0,36	0,37	0,37	0,35
	Ilha Guaíba	0,44	0,49	0,54	0,58	0,59	0,61	0,54
	Japuíba	0,42	0,47	0,53	0,56	0,58	0,60	0,53
	Sambaetiba	0,40	0,44	0,48	0,51	0,53	0,54	0,48
V	São Bento	0,62	0,74	0,86	0,94	0,98	1,01	0,86
	Tanguá	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,43
	Vassouras	0,37	0,39	0,41	0,43	0,43	0,44	0,41
	Xerém	0,38	0,41	0,45	0,47	0,49	0,49	0,45
	Campos	0,36	0,40	0,43	0,46	0,47	0,48	0,43
	Macaé	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,26
VI	Lajes	0,30	0,32	0,34	0,35	0,35	0,36	0,33
	Manuel Duarte	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,42	0,38
	Piraí	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,35
	Resende	0,31	0,33	0,35	0,37	0,37	0,38	0,35
	Santa Cecília	0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,36
	Sta Isabel Rio Preto	0,37	0,41	0,44	0,46	0,47	0,48	0,44
	Tocos	0,36	0,38	0,41	0,42	0,43	0,44	0,40
Vila Mambucaba	0,33	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,37	

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 2. Relação entre a precipitação máxima de 15 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,64	0,70	0,75	0,79	0,80	0,82	0,75
	Rio Mole	0,57	0,62	0,66	0,69	0,71	0,72	0,66
II	Carmo	0,62	0,68	0,74	0,78	0,80	0,82	0,74
	Cordeiro	0,57	0,59	0,62	0,63	0,64	0,65	0,62
	Ilha dos Pombos	0,55	0,57	0,60	0,61	0,62	0,63	0,60
	Nova Friburgo	0,50	0,53	0,56	0,58	0,59	0,60	0,56
	Sta M ^a Madalena	0,53	0,56	0,59	0,61	0,62	0,63	0,59
III	Andorinhas	0,49	0,52	0,54	0,55	0,56	0,57	0,54
	Cachoeiras Macacu	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,48
	Capela Mayrink	0,52	0,55	0,59	0,61	0,63	0,64	0,59
	Ecologia Agrícola	0,45	0,47	0,48	0,50	0,50	0,51	0,48
	Eletrobrás	0,46	0,47	0,49	0,50	0,50	0,51	0,49
	Escola União	0,53	0,55	0,58	0,60	0,61	0,62	0,58
	Faz. Coqueiro	0,50	0,53	0,56	0,57	0,58	0,59	0,56
	Faz. Sto Amaro	0,49	0,51	0,53	0,54	0,55	0,56	0,53
	Ilha Guaíba	0,65	0,70	0,75	0,78	0,80	0,81	0,75
	Japuíba	0,61	0,67	0,73	0,76	0,78	0,80	0,73
	Sambaetiba	0,58	0,62	0,67	0,70	0,72	0,73	0,67
	São Bento	0,73	0,82	0,91	0,98	1,01	1,03	0,91
	Tanguá	0,56	0,59	0,62	0,64	0,65	0,66	0,62
	Vassouras	0,60	0,65	0,70	0,74	0,76	0,77	0,70
Xerém	0,57	0,61	0,65	0,67	0,69	0,69	0,65	
V	Campos	0,52	0,55	0,58	0,60	0,62	0,62	0,58
	Macaé	0,46	0,48	0,50	0,52	0,53	0,53	0,50
VI	Lajes	0,49	0,52	0,54	0,55	0,56	0,57	0,54
	Manuel Duarte	0,53	0,57	0,61	0,64	0,66	0,67	0,61
	Piraí	0,53	0,55	0,57	0,58	0,59	0,60	0,57
	Resende	0,56	0,60	0,64	0,66	0,68	0,69	0,64
	Santa Cecília	0,52	0,53	0,55	0,56	0,56	0,57	0,55
	Sta Isabel Rio Preto	0,59	0,63	0,67	0,70	0,71	0,72	0,67
	Tocos	0,61	0,65	0,70	0,72	0,74	0,75	0,69
	Vila Mambucaba	0,52	0,54	0,57	0,58	0,59	0,60	0,57

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 3. Relação entre a precipitação máxima de 15 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,74	0,79	0,85	0,88	0,90	0,82	0,83
	Rio Mole	0,70	0,74	0,78	0,80	0,82	0,72	0,76
II	Carmo	0,75	0,79	0,84	0,87	0,89	0,82	0,83
	Cordeiro	0,75	0,78	0,81	0,83	0,84	0,65	0,77
	Ilha dos Pombos	0,69	0,71	0,73	0,75	0,76	0,63	0,71
	Nova Friburgo	0,73	0,78	0,83	0,86	0,88	0,60	0,78
	Sta M ^a Madalena	0,75	0,79	0,83	0,85	0,86	0,63	0,78
	Andorinhas	0,66	0,69	0,72	0,73	0,74	0,57	0,68
III	Cachoeiras Macacu	0,62	0,64	0,65	0,67	0,67	0,50	0,62
	Capela Mayrink	0,67	0,71	0,75	0,77	0,78	0,64	0,72
	Ecologia Agrícola	0,63	0,66	0,70	0,72	0,73	0,51	0,66
	Eletrobrás	0,63	0,64	0,66	0,67	0,68	0,51	0,63
	Escola União	0,70	0,73	0,76	0,79	0,80	0,62	0,73
	Faz. Coqueiro	0,66	0,69	0,72	0,74	0,75	0,59	0,69
	Faz. Sto Amaro	0,65	0,67	0,70	0,71	0,72	0,56	0,67
	Ilha Guaíba	0,80	0,86	0,92	0,96	0,98	0,81	0,89
	Japuíba	0,75	0,79	0,84	0,87	0,89	0,80	0,82
	Sambaetiba	0,72	0,75	0,79	0,82	0,83	0,73	0,77
V	São Bento	0,86	0,93	1,00	1,05	1,08	1,03	0,99
	Tanguá	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,66	0,74
	Vassouras	0,74	0,79	0,84	0,87	0,89	0,77	0,81
	Xerém	0,73	0,76	0,80	0,82	0,83	0,69	0,77
	Campos	0,72	0,76	0,79	0,81	0,83	0,62	0,76
	Macaé	0,66	0,70	0,75	0,77	0,79	0,53	0,70
	Lajes	0,66	0,69	0,72	0,73	0,74	0,57	0,68
VI	Manuel Duarte	0,69	0,73	0,76	0,79	0,80	0,67	0,74
	Piraí	0,70	0,73	0,76	0,78	0,79	0,60	0,73
	Resende	0,74	0,77	0,82	0,84	0,86	0,69	0,78
	Santa Cecília	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,57	0,68
	Sta Isabel Rio Preto	0,74	0,77	0,80	0,82	0,83	0,72	0,78
	Tocos	0,77	0,81	0,86	0,89	0,90	0,75	0,83
Vila Mambucaba	0,66	0,68	0,69	0,70	0,71	0,60	0,67	

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 4. Relação entre a precipitação máxima de 20 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,85	0,89	0,94	0,97	0,99	1,00	0,94
	Rio Mole	0,80	0,82	0,85	0,86	0,87	0,88	0,85
II	Carmo	0,82	0,84	0,86	0,88	0,88	0,89	0,86
	Cordeiro	0,85	0,87	0,88	0,90	0,90	0,91	0,88
	Ilha dos Pombos	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,85
	Nova Friburgo	0,83	0,85	0,88	0,90	0,91	0,91	0,88
	Sta M ^a Madalena	0,91	0,95	0,99	1,02	1,03	1,04	0,99
	Andorinhas	0,79	0,81	0,83	0,85	0,85	0,86	0,83
	Cachoeiras Macacu	0,77	0,79	0,81	0,82	0,82	0,83	0,81
III	Capela Mayrink	0,80	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90	0,86
	Ecologia Agrícola	0,82	0,86	0,91	0,94	0,95	0,96	0,91
	Eletrobrás	0,77	0,79	0,81	0,82	0,83	0,83	0,81
	Escola União	0,83	0,86	0,89	0,92	0,93	0,93	0,89
	Faz. Coqueiro	0,80	0,83	0,85	0,87	0,88	0,88	0,85
	Faz. Sto Amaro	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89	0,85
	Ilha Guaíba	0,89	0,94	0,99	1,02	1,04	1,05	0,99
	Japuíba	0,85	0,88	0,92	0,95	0,96	0,97	0,92
	Sambaetiba	0,83	0,85	0,88	0,90	0,90	0,91	0,88
	São Bento	0,94	0,98	1,03	1,06	1,07	1,08	1,03
	Tanguá	0,83	0,86	0,88	0,90	0,91	0,92	0,88
	Vassouras	0,86	0,88	0,91	0,93	0,94	0,94	0,91
	Xerém	0,85	0,88	0,91	0,92	0,94	0,94	0,90
V	Campos	0,92	0,96	1,01	1,04	1,05	1,06	1,01
	Macaé	0,80	0,84	0,87	0,90	0,91	0,92	0,87
VI	Lajes	0,79	0,81	0,83	0,85	0,85	0,86	0,83
	Manuel Duarte	0,83	0,86	0,89	0,91	0,92	0,93	0,89
	Piraí	0,81	0,83	0,86	0,87	0,88	0,89	0,86
	Resende	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,94	0,91
	Santa Cecília	0,82	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,86
	Sta Isabel Rio Preto	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,91	0,89
	Tocos	0,87	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,92
	Vila Mambucaba	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,83

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 5. Relação entre a precipitação máxima de 25 min e a precipitação máxima de 30 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,96	1,00	1,04	1,06	1,08	1,09	1,04
	Rio Mole	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,96
II	Carmo	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,94
	Cordeiro	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
	Ilha dos Pombos	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,97
	Nova Friburgo	0,95	0,97	0,99	1,00	1,01	1,01	0,99
	Sta M ^a Madalena	0,95	0,97	0,99	1,00	1,00	1,01	0,99
	Andorinhas	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,94
III	Cachoeiras Macacu	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,91	0,90
	Capela Mayrink	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,96
	Ecologia Agrícola	0,91	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99	0,96
	Eletrobrás	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91	0,91	0,90
	Escola União	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,96
	Faz. Coqueiro	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,93
	Faz. Sto Amaro	0,92	0,93	0,95	0,96	0,96	0,97	0,95
	Ilha Guaíba	0,96	0,98	1,01	1,02	1,03	1,04	1,01
	Japuíba	0,94	0,97	0,99	1,01	1,01	1,02	0,99
	Sambaetiba	0,92	0,94	0,96	0,97	0,97	0,98	0,96
	São Bento	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,06	1,03
	Tanguá	0,94	0,96	0,98	1,00	1,00	1,01	0,98
V	Vassouras	0,95	0,97	0,99	1,00	1,01	1,01	0,99
	Xerém	0,94	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,97
VI	Campos	0,98	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
	Macaé	0,92	0,95	0,97	0,99	1,00	1,01	0,97
VI	Lajes	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,94
	Manuel Duarte	0,95	0,97	1,00	1,01	1,02	1,03	1,00
	Piraí	0,92	0,94	0,96	0,98	0,98	0,99	0,96
	Resende	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00	1,01	0,98
	Santa Cecília	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96
	Sta Isabel Rio Preto	0,95	0,97	0,99	1,01	1,01	1,02	0,99
	Tocos	0,95	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	0,98
	Vila Mambucaba	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,90

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 6. Relação entre a precipitação máxima de 30 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,86	0,92	0,98	1,02	1,05	1,06	0,98
	Rio Mole	0,83	0,88	0,94	0,98	1,00	1,02	0,94
II	Carmo	0,91	0,97	1,03	1,07	1,09	1,11	1,03
	Cordeiro	0,89	0,93	0,98	1,01	1,02	1,03	0,98
	Ilha dos Pombos	0,85	0,89	0,93	0,95	0,96	0,97	0,93
	Nova Friburgo	0,86	0,90	0,93	0,96	0,97	0,98	0,93
	Sta M ^a Madalena	0,87	0,92	0,98	1,01	1,03	1,04	0,98
	Andorinhas	0,80	0,85	0,90	0,93	0,95	0,96	0,90
III	Cachoeiras Macacu	0,72	0,75	0,78	0,80	0,81	0,82	0,78
	Capela Mayrink	0,79	0,82	0,87	0,89	0,91	0,92	0,87
	Ecologia Agrícola	0,77	0,83	0,89	0,93	0,95	0,96	0,89
	Eletrobrás	0,74	0,77	0,80	0,82	0,84	0,84	0,80
	Escola União	0,80	0,84	0,88	0,91	0,92	0,93	0,88
	Faz. Coqueiro	0,80	0,84	0,88	0,91	0,92	0,93	0,88
	Faz. Sto Amaro	0,76	0,79	0,82	0,84	0,85	0,86	0,82
	Ilha Guaíba	0,75	0,81	0,87	0,91	0,93	0,95	0,87
	Japuíba	0,86	0,90	0,95	0,98	0,99	1,00	0,95
	Sambaetiba	0,85	0,89	0,94	0,97	0,98	0,99	0,94
	São Bento	0,92	0,98	1,04	1,08	1,10	1,12	1,04
	Tanguá	0,81	0,85	0,90	0,93	0,95	0,96	0,90
	Vassouras	0,81	0,85	0,90	0,93	0,95	0,96	0,90
	Xerém	0,84	0,88	0,94	0,97	0,99	1,00	0,94
V	Campos	0,80	0,84	0,89	0,92	0,94	0,95	0,89
	Macaé	0,89	0,94	1,00	1,03	1,05	1,06	0,99
VI	Lajes	0,80	0,85	0,90	0,93	0,95	0,96	0,90
	Manuel Duarte	0,77	0,81	0,85	0,87	0,88	0,89	0,85
	Piraí	0,75	0,77	0,80	0,82	0,83	0,83	0,80
	Resende	0,80	0,82	0,85	0,87	0,87	0,88	0,85
	Santa Cecília	0,88	0,91	0,95	0,98	0,99	1,00	0,95
	Sta Isabel Rio Preto	0,77	0,81	0,85	0,87	0,88	0,89	0,85
	Tocos	0,84	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,91
	Vila Mambucaba	0,74	0,78	0,82	0,84	0,85	0,86	0,82

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 7. Relação entre a precipitação máxima de 35 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,89	0,94	1,00	1,03	1,05	1,06	1,00
	Rio Mole	0,89	0,94	1,00	1,03	1,05	1,07	1,00
II	Carmo	0,94	0,99	1,04	1,08	1,09	1,11	1,04
	Cordeiro	0,92	0,95	0,98	1,00	1,01	1,02	0,98
	Ilha dos Pombos	0,91	0,94	0,98	1,00	1,01	1,02	0,97
	Nova Friburgo	0,90	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	0,96
	Sta M ^a Madalena	0,91	0,96	1,00	1,03	1,05	1,06	1,00
	Andorinhas	0,86	0,91	0,95	0,98	1,00	1,01	0,95
	Cachoeiras Macacu	0,79	0,82	0,85	0,87	0,88	0,89	0,85
III	Capela Mayrink	0,84	0,87	0,91	0,93	0,94	0,95	0,91
	Ecologia Agrícola	0,87	0,93	1,00	1,04	1,06	1,08	1,00
	Eletrobrás	0,81	0,84	0,87	0,90	0,91	0,91	0,87
	Escola União	0,86	0,90	0,94	0,96	0,97	0,98	0,94
	Faz. Coqueiro	0,87	0,90	0,94	0,97	0,98	0,99	0,94
	Faz. Sto Amaro	0,83	0,86	0,89	0,91	0,92	0,93	0,89
	Ilha Guaíba	0,78	0,84	0,90	0,94	0,96	0,97	0,90
	Japuíba	0,90	0,94	0,97	1,00	1,01	1,02	0,97
	Sambaetiba	0,90	0,93	0,97	1,00	1,02	1,02	0,97
	São Bento	0,94	0,99	1,03	1,07	1,08	1,09	1,03
	Tanguá	0,85	0,89	0,93	0,96	0,98	0,99	0,93
	Vassouras	0,84	0,88	0,92	0,95	0,96	0,97	0,92
	Xerém	0,90	0,94	0,99	1,02	1,04	1,05	0,99
V	Campos	0,85	0,90	0,95	0,98	1,00	1,01	0,95
	Macaé	0,92	0,96	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
VI	Lajes	0,86	0,91	0,95	0,98	1,00	1,01	0,95
	Manuel Duarte	0,86	0,91	0,96	1,00	1,02	1,03	0,96
	Piraí	0,84	0,87	0,91	0,93	0,94	0,95	0,91
	Resende	0,85	0,87	0,90	0,92	0,92	0,93	0,90
	Santa Cecília	0,92	0,95	0,98	1,00	1,01	1,02	0,98
	Sta Isabel Rio Preto	0,83	0,86	0,90	0,93	0,94	0,95	0,90
	Tocos	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,95
	Vila Mambucaba	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,94	0,89

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 8. Relação entre a precipitação máxima de 40 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,93	0,97	1,01	1,04	1,05	1,06	1,01
	Rio Mole	0,93	0,98	1,03	1,06	1,07	1,09	1,02
II	Carmo	0,97	1,01	1,06	1,09	1,10	1,11	1,06
	Cordeiro	0,97	0,99	1,01	1,03	1,04	1,04	1,01
	Ilha dos Pombos	0,94	0,96	0,99	1,00	1,01	1,02	0,99
	Nova Friburgo	0,95	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Sta M ^a Madalena	0,93	0,96	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Andorinhas	0,90	0,94	0,98	1,00	1,01	1,02	0,98
III	Cachoeiras Macacu	0,85	0,88	0,91	0,92	0,93	0,94	0,91
	Capela Mayrink	0,88	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98	0,94
	Ecologia Agrícola	0,91	0,96	1,01	1,05	1,07	1,08	1,01
	Eletrobrás	0,86	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,92
	Escola União	0,91	0,94	0,98	1,00	1,01	1,02	0,98
	Faz. Coqueiro	0,91	0,95	0,98	1,00	1,01	1,02	0,98
	Faz. Sto Amaro	0,87	0,90	0,93	0,95	0,96	0,96	0,93
	Ilha Guaíba	0,82	0,87	0,92	0,95	0,97	0,99	0,92
	Japuíba	0,94	0,97	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Sambaetiba	0,94	0,97	1,01	1,03	1,05	1,05	1,01
	São Bento	0,95	0,99	1,03	1,05	1,07	1,08	1,03
	Tanguá	0,89	0,92	0,95	0,97	0,99	0,99	0,95
	Vassouras	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,94
Xerém	0,93	0,97	1,01	1,04	1,06	1,07	1,01	
V	Campos	0,91	0,96	1,00	1,03	1,05	1,06	1,00
	Macaé	0,96	0,98	1,01	1,03	1,04	1,04	1,01
VI	Lajes	0,90	0,94	0,98	1,00	1,01	1,02	0,98
	Manuel Duarte	0,90	0,94	0,99	1,02	1,04	1,05	0,99
	Piraí	0,88	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	0,95
	Resende	0,91	0,93	0,97	0,98	0,99	1,00	0,96
	Santa Cecília	0,96	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Sta Isabel Rio Preto	0,88	0,91	0,94	0,96	0,98	0,98	0,94
	Tocos	0,95	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Vila Mambucaba	0,86	0,89	0,93	0,95	0,96	0,97	0,93

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 9. Relação entre a precipitação máxima de 45 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,94	0,97	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Rio Mole	0,97	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
II	Carmo	0,99	1,02	1,05	1,08	1,09	1,10	1,05
	Cordeiro	0,99	1,00	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Ilha dos Pombos	0,96	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03	1,00
	Nova Friburgo	0,96	0,97	0,99	1,00	1,01	1,01	0,99
	Sta M ^a Madalena	0,97	0,99	1,01	1,03	1,03	1,04	1,01
	Andorinhas	0,93	0,96	0,99	1,01	1,02	1,03	0,99
	Cachoeiras Macacu	0,90	0,92	0,94	0,96	0,97	0,97	0,94
III	Capela Mayrink	0,93	0,95	0,97	0,99	1,00	1,00	0,97
	Ecologia Agrícola	0,94	0,98	1,03	1,05	1,07	1,08	1,03
	Eletrobrás	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,95
	Escola União	0,95	0,98	1,01	1,02	1,03	1,04	1,01
	Faz. Coqueiro	0,95	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Faz. Sto Amaro	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,96
	Ilha Guaíba	0,86	0,90	0,94	0,96	0,98	0,99	0,94
	Japuíba	0,97	0,99	1,02	1,03	1,04	1,05	1,02
	Sambaetiba	0,96	0,99	1,01	1,03	1,03	1,04	1,01
	São Bento	0,97	1,00	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
	Tanguá	0,92	0,94	0,97	0,99	0,99	1,00	0,97
	Vassouras	0,92	0,95	0,97	0,99	1,00	1,00	0,97
	Xerém	0,96	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
V	Campos	0,94	0,97	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Macaé	0,98	1,00	1,03	1,04	1,05	1,06	1,03
VI	Lajes	0,93	0,96	0,99	1,01	1,02	1,03	0,99
	Manuel Duarte	0,93	0,97	1,00	1,03	1,04	1,05	1,00
	Piraí	0,94	0,98	1,01	1,04	1,05	1,06	1,01
	Resende	0,95	0,99	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Santa Cecília	0,97	0,99	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
	Sta Isabel Rio Preto	0,92	0,94	0,97	0,99	0,99	1,00	0,97
	Tocos	0,97	1,00	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Vila Mambucaba	0,90	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	0,96

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 10. Relação entre a precipitação máxima de 50 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,96	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03	1,00
	Rio Mole	0,98	1,01	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
II	Carmo	1,00	1,02	1,05	1,07	1,07	1,08	1,05
	Cordeiro	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Ilha dos Pombos	0,99	1,00	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02
	Nova Friburgo	0,98	0,99	1,01	1,02	1,03	1,03	1,01
	Sta M ^a Madalena	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,01
	Andorinhas	0,96	0,98	1,00	1,02	1,02	1,03	1,00
III	Cachoeiras Macacu	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,97
	Capela Mayrink	0,97	0,98	1,00	1,02	1,02	1,03	1,00
	Ecologia Agrícola	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Eletrobrás	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	0,98
	Escola União	0,98	0,99	1,01	1,03	1,03	1,04	1,01
	Faz. Coqueiro	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
	Faz. Sto Amaro	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	0,98
	Ilha Guaíba	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,95
	Japuíba	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
	Sambaetiba	0,98	0,99	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	São Bento	0,98	1,00	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Tanguá	0,96	0,97	0,99	1,01	1,02	1,02	0,99
	Vassouras	0,97	1,00	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
Xerém	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02	
V	Campos	0,96	0,98	1,01	1,02	1,03	1,04	1,01
	Macaé	0,99	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
VI	Lajes	0,96	0,98	1,00	1,02	1,02	1,03	1,00
	Manuel Duarte	0,97	1,00	1,02	1,04	1,05	1,05	1,02
	Piraí	0,96	0,99	1,02	1,03	1,04	1,05	1,02
	Resende	0,99	1,01	1,04	1,06	1,07	1,07	1,04
	Santa Cecília	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01
	Sta Isabel Rio Preto	0,96	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02	1,00
	Tocos	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
	Vila Mambucaba	0,94	0,96	0,99	1,00	1,01	1,02	0,99

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 11. Relação entre a precipitação máxima de 55 min e a precipitação máxima de 60 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,99	1,00	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Rio Mole	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,01
II	Carmo	1,00	1,01	1,03	1,03	1,04	1,04	1,03
	Cordeiro	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Ilha dos Pombos	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02
	Nova Friburgo	0,99	1,00	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Sta M ^a Madalena	0,99	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01
	Andorinhas	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,00
III	Cachoeiras Macacu	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99
	Capela Mayrink	0,99	1,00	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02
	Ecologia Agrícola	0,98	0,99	1,01	1,02	1,03	1,03	1,01
	Eletrobrás	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99
	Escola União	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Faz. Coqueiro	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Faz. Sto Amaro	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,01	1,00
	Ilha Guaíba	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,97
	Japuíba	0,99	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01
	Sambaetiba	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	São Bento	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Tanguá	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00
	Vassouras	0,99	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
Xerém	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01	
V	Campos	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01
	Macaé	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01
VI	Lajes	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,00
	Manuel Duarte	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Piraí	0,98	0,99	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Resende	0,99	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Santa Cecília	0,99	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	Sta Isabel Rio Preto	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,00
	Tocos	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01
	Vila Mambucaba	0,98	0,99	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 12. Relação entre a precipitação máxima de 60 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,89	0,93	0,97	1,00	1,01	1,02	0,97
	Rio Mole	0,83	0,89	0,94	0,98	1,00	1,01	0,94
II	Carmo	0,95	1,01	1,07	1,10	1,12	1,14	1,06
	Cordeiro	0,90	0,94	0,99	1,03	1,05	1,06	0,99
	Ilha dos Pombos	0,84	0,87	0,90	0,92	0,93	0,93	0,90
	Nova Friburgo	0,93	0,99	1,04	1,08	1,10	1,11	1,04
	Sta M ^a Madalena	0,84	0,88	0,93	0,96	0,98	0,99	0,93
	Andorinhas	0,86	0,92	0,98	1,02	1,04	1,05	0,98
III	Cachoeiras Macacu	0,79	0,83	0,87	0,90	0,92	0,93	0,87
	Capela Mayrink	0,88	0,93	0,99	1,02	1,04	1,05	0,99
	Ecologia Agrícola	0,93	0,97	1,02	1,05	1,06	1,07	1,02
	Eletrobrás	0,80	0,84	0,88	0,91	0,93	0,94	0,88
	Escola União	0,92	0,97	1,01	1,04	1,06	1,07	1,01
	Faz. Coqueiro	0,94	1,00	1,06	1,10	1,12	1,13	1,06
	Faz. Sto Amaro	0,91	0,96	1,00	1,03	1,04	1,05	1,00
	Ilha Guaíba	0,79	0,84	0,89	0,92	0,94	0,95	0,89
	Japuíba	0,96	0,99	1,03	1,05	1,06	1,07	1,02
	Sambaetiba	0,96	1,01	1,06	1,09	1,11	1,12	1,06
	São Bento	0,91	0,94	0,99	1,01	1,03	1,04	0,99
	Tanguá	0,92	0,97	1,01	1,04	1,06	1,07	1,01
	Vassouras	0,88	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	0,95
Xerém	0,89	0,94	0,99	1,02	1,04	1,06	0,99	
V	Campos	0,88	0,92	0,96	0,98	1,00	1,01	0,96
	Macaé	0,90	0,95	1,00	1,03	1,05	1,06	1,00
VI	Lajes	0,86	0,92	0,98	1,02	1,04	1,05	0,98
	Manuel Duarte	0,89	0,93	0,97	1,00	1,02	1,03	0,97
	Piraí	0,95	1,00	1,05	1,08	1,10	1,11	1,05
	Resende	0,90	0,94	0,99	1,01	1,03	1,04	0,99
	Santa Cecília	0,94	0,98	1,02	1,05	1,06	1,07	1,02
	Sta Isabel Rio Preto	0,88	0,90	0,93	0,94	0,95	0,95	0,93
	Tocos	0,90	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	0,95
	Vila Mambucaba	0,81	0,85	0,90	0,93	0,94	0,95	0,90

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 13. Relação entre a precipitação máxima de 70 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,93	0,97	1,00	1,03	1,04	1,05	1,00
	Rio Mole	0,87	0,92	0,97	1,00	1,02	1,03	0,97
II	Carmo	0,97	1,02	1,07	1,10	1,12	1,14	1,07
	Cordeiro	0,93	0,98	1,02	1,05	1,06	1,07	1,02
	Ilha dos Pombos	0,87	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,93
	Nova Friburgo	0,94	0,98	1,01	1,04	1,05	1,06	1,01
	Sta M ^a Madalena	0,91	0,97	1,02	1,06	1,08	1,09	1,02
	Andorinhas	0,90	0,95	1,00	1,03	1,05	1,06	1,00
III	Cachoeiras Macacu	0,83	0,87	0,90	0,93	0,94	0,95	0,90
	Capela Mayrink	0,91	0,95	0,99	1,01	1,03	1,04	0,99
	Ecologia Agrícola	0,96	0,99	1,02	1,03	1,04	1,05	1,01
	Eletrobrás	0,84	0,88	0,92	0,95	0,96	0,97	0,92
	Escola União	0,96	1,00	1,03	1,06	1,07	1,08	1,03
	Faz. Coqueiro	0,97	1,02	1,07	1,10	1,12	1,13	1,07
	Faz. Sto Amaro	0,95	0,98	1,02	1,04	1,06	1,06	1,02
	Ilha Guaíba	0,86	0,90	0,95	0,98	1,00	1,01	0,95
	Japuíba	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,07	1,03
	Sambaetiba	0,98	1,02	1,07	1,10	1,11	1,12	1,07
	São Bento	0,95	0,98	1,02	1,05	1,06	1,07	1,02
	Tanguá	0,96	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
	Vassouras	0,92	0,96	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
Xerém	0,91	0,95	1,00	1,02	1,04	1,05	1,00	
V	Campos	0,94	0,98	1,02	1,05	1,06	1,07	1,02
	Macaé	0,94	0,98	1,03	1,06	1,08	1,09	1,03
VI	Lajes	0,90	0,95	1,00	1,03	1,05	1,06	1,00
	Manuel Duarte	0,92	0,95	0,98	1,01	1,02	1,03	0,98
	Piraí	0,97	1,01	1,05	1,08	1,09	1,10	1,05
	Resende	0,93	0,96	0,99	1,01	1,02	1,03	0,99
	Santa Cecília	0,96	1,00	1,04	1,06	1,07	1,08	1,03
	Sta Isabel Rio Preto	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00	1,01	0,98
	Tocos	0,94	0,96	0,99	1,01	1,02	1,03	0,99
	Vila Mambucaba	0,86	0,90	0,94	0,96	0,97	0,98	0,94

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 14. Relação entre a precipitação máxima de 80 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,96	0,99	1,03	1,05	1,06	1,07	1,03
	Rio Mole	0,91	0,95	0,99	1,02	1,03	1,04	0,99
II	Carmo	0,98	1,02	1,07	1,10	1,12	1,13	1,07
	Cordeiro	0,94	0,97	1,00	1,02	1,04	1,04	1,00
	Ilha dos Pombos	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,95
	Nova Friburgo	0,97	0,99	1,02	1,04	1,04	1,05	1,02
	Sta M ^a Madalena	0,96	1,01	1,07	1,10	1,12	1,13	1,07
	Andorinhas	0,95	0,99	1,03	1,06	1,08	1,09	1,03
III	Cachoeiras Macacu	0,89	0,92	0,96	0,98	0,99	1,00	0,96
	Capela Mayrink	0,94	0,97	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Ecologia Agrícola	0,97	0,99	1,01	1,02	1,03	1,03	1,01
	Eletrobrás	0,90	0,93	0,97	1,00	1,01	1,02	0,97
	Escola União	0,98	1,01	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
	Faz. Coqueiro	0,98	1,02	1,06	1,09	1,10	1,11	1,06
	Faz. Sto Amaro	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
	Ilha Guaíba	0,91	0,95	1,00	1,03	1,04	1,05	1,00
	Japuíba	0,99	1,01	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
	Sambaetiba	0,99	1,02	1,06	1,09	1,10	1,11	1,06
	São Bento	0,96	0,99	1,02	1,05	1,06	1,06	1,02
	Tanguá	0,98	1,01	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
	Vassouras	0,95	0,98	1,01	1,04	1,05	1,06	1,01
Xerém	0,94	0,97	1,01	1,03	1,05	1,06	1,01	
V	Campos	0,96	0,99	1,03	1,05	1,07	1,07	1,03
	Macaé	0,96	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
VI	Lajes	0,95	0,99	1,03	1,06	1,08	1,09	1,03
	Manuel Duarte	0,95	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Piraí	0,98	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
	Resende	0,95	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Santa Cecília	0,98	1,01	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
	Sta Isabel Rio Preto	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,97
	Tocos	0,96	0,98	1,01	1,03	1,04	1,04	1,01
	Vila Mambucaba	0,91	0,94	0,97	0,99	1,00	1,01	0,97

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 15. Relação entre a precipitação máxima de 90 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
	Rio Mole	0,94	0,97	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
II	Carmo	1,00	1,03	1,07	1,10	1,11	1,12	1,07
	Cordeiro	0,96	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Ilha dos Pombos	0,94	0,96	0,99	1,00	1,01	1,02	0,99
	Nova Friburgo	1,01	1,03	1,05	1,07	1,08	1,08	1,05
	Sta M ^a Madalena	0,99	1,03	1,08	1,11	1,13	1,14	1,08
	Andorinhas	0,97	1,01	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
III	Cachoeiras Macacu	0,93	0,96	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Capela Mayrink	0,96	0,98	1,01	1,03	1,04	1,04	1,01
	Ecologia Agrícola	0,98	0,99	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Eletrobrás	0,95	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Escola União	0,99	1,01	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
	Faz. Coqueiro	1,00	1,02	1,06	1,08	1,09	1,09	1,06
	Faz. Sto Amaro	0,98	1,00	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Ilha Guaíba	0,96	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
	Japuíba	1,00	1,02	1,05	1,06	1,07	1,08	1,05
	Sambaetiba	1,00	1,03	1,06	1,08	1,09	1,10	1,06
	São Bento	0,97	0,99	1,01	1,03	1,04	1,04	1,01
	Tanguá	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,07	1,04
	Vassouras	0,98	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
Xerém	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02	
V	Campos	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,05	1,02
	Macaé	0,97	1,00	1,03	1,06	1,07	1,08	1,03
VI	Lajes	0,97	1,01	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Manuel Duarte	0,97	0,99	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
	Piraí	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Resende	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02	1,00
	Santa Cecília	0,98	1,01	1,04	1,05	1,06	1,07	1,04
	Sta Isabel Rio Preto	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98
	Tocos	0,97	1,00	1,03	1,04	1,05	1,06	1,03
	Vila Mambucaba	0,97	1,00	1,03	1,06	1,07	1,07	1,03

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 16. Relação entre a precipitação máxima de 100 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,98	1,00	1,03	1,04	1,05	1,06	1,03
	Rio Mole	0,96	0,98	1,00	1,02	1,03	1,03	1,00
II	Carmo	1,00	1,03	1,06	1,08	1,09	1,10	1,06
	Cordeiro	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	0,99
	Ilha dos Pombos	0,98	1,01	1,03	1,05	1,05	1,06	1,03
	Nova Friburgo	1,01	1,02	1,04	1,05	1,05	1,06	1,04
	Sta M ^a Madalena	1,00	1,02	1,06	1,08	1,09	1,09	1,06
	Andorinhas	0,99	1,01	1,04	1,05	1,06	1,07	1,04
III	Cachoeiras Macacu	0,97	0,99	1,01	1,02	1,03	1,04	1,01
	Capela Mayrink	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,05	1,02
	Ecologia Agrícola	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Eletrobrás	0,97	0,99	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
	Escola União	1,00	1,01	1,03	1,04	1,04	1,04	1,03
	Faz. Coqueiro	1,00	1,03	1,05	1,06	1,07	1,08	1,05
	Faz. Sto Amaro	0,99	1,00	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Ilha Guaíba	0,98	1,01	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
	Japuíba	1,01	1,03	1,05	1,06	1,07	1,07	1,05
	Sambaetiba	1,00	1,03	1,05	1,07	1,07	1,08	1,05
	São Bento	0,97	0,99	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01
	Tanguá	1,00	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Vassouras	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
Xerém	0,98	0,99	1,01	1,02	1,03	1,04	1,01	
V	Campos	0,97	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,00
	Macaé	0,98	1,00	1,03	1,04	1,05	1,06	1,03
VI	Lajes	0,99	1,01	1,04	1,05	1,06	1,07	1,04
	Manuel Duarte	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01
	Piraí	0,99	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Resende	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,00
	Santa Cecília	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Sta Isabel Rio Preto	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Tocos	0,99	1,01	1,04	1,05	1,06	1,06	1,04
	Vila Mambucaba	0,97	0,99	1,01	1,02	1,03	1,03	1,01

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 17. Relação entre a precipitação máxima de 110 min e a precipitação máxima de 120 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	1,00	1,01	1,03	1,04	1,04	1,05	1,03
	Rio Mole	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,01
II	Carmo	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02
	Cordeiro	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02
	Ilha dos Pombos	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Nova Friburgo	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02
	Sta M ^a Madalena	1,00	1,01	1,03	1,04	1,04	1,05	1,03
	Andorinhas	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02
III	Cachoeiras Macacu	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Capela Mayrink	0,99	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02
	Ecologia Agrícola	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	Eletrobrás	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Escola União	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02
	Faz. Coqueiro	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Faz. Sto Amaro	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Ilha Guaíba	0,99	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
	Japuíba	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,04	1,03
	Sambaetiba	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	São Bento	0,99	1,00	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02
	Tanguá	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02
	Vassouras	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,02
	Xerém	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
V	Campos	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,01	1,00
	Macaé	0,99	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
VI	Lajes	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02
	Manuel Duarte	0,99	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	Piraí	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Resende	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Santa Cecília	0,99	1,00	1,02	1,02	1,03	1,03	1,01
	Sta Isabel Rio Preto	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00
	Tocos	1,00	1,01	1,03	1,03	1,04	1,04	1,02
	Vila Mambucaba	0,99	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 18. Relação entre a precipitação máxima de 120 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,93	0,98	1,03	1,06	1,08	1,09	1,03
	Rio Mole	0,87	0,93	1,00	1,05	1,07	1,09	1,00
II	Carmo	0,93	0,99	1,05	1,08	1,10	1,12	1,04
	Cordeiro	0,88	0,92	0,96	0,98	1,00	1,01	0,96
	Ilha dos Pombos	0,94	0,97	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Nova Friburgo	0,98	1,03	1,08	1,12	1,14	1,15	1,08
	Sta M ^a Madalena	0,95	0,99	1,03	1,06	1,07	1,08	1,03
	Andorinhas	0,95	1,00	1,05	1,09	1,11	1,12	1,05
III	Cachoeiras Macacu	0,88	0,92	0,97	1,00	1,02	1,03	0,97
	Capela Mayrink	0,90	0,97	1,03	1,08	1,10	1,12	1,03
	Ecologia Agrícola	0,95	0,99	1,03	1,06	1,07	1,08	1,03
	Eletrobrás	0,89	0,94	0,99	1,02	1,04	1,05	0,99
	Escola União	0,93	0,97	1,01	1,04	1,05	1,06	1,01
	Faz. Coqueiro	0,93	0,97	1,02	1,05	1,07	1,08	1,02
	Faz. Sto Amaro	0,96	1,02	1,07	1,11	1,13	1,15	1,07
	Ilha Guaíba	0,91	0,96	1,01	1,05	1,07	1,08	1,01
	Japuíba	0,95	0,99	1,04	1,06	1,08	1,09	1,04
	Sambaetiba	0,96	1,01	1,06	1,09	1,10	1,12	1,05
	São Bento	0,97	1,04	1,11	1,15	1,18	1,19	1,11
	Tanguá	0,96	1,00	1,05	1,08	1,10	1,11	1,05
	Vassouras	0,88	0,93	0,99	1,03	1,05	1,06	0,99
Xerém	0,93	0,98	1,04	1,08	1,10	1,12	1,04	
V	Campos	0,91	0,96	1,01	1,04	1,06	1,07	1,01
	Macaé	0,85	0,87	0,90	0,92	0,93	0,94	0,90
VI	Lajes	0,95	1,00	1,05	1,09	1,11	1,12	1,05
	Manuel Duarte	0,94	0,98	1,03	1,06	1,07	1,08	1,03
	Piraí	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,91
	Resende	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
	Santa Cecília	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,93
	Sta Isabel Rio Preto	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Tocos	0,92	0,95	0,98	1,00	1,01	1,02	0,98
	Vila Mambucaba	0,85	0,87	0,90	0,92	0,93	0,94	0,90

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 19. Relação entre a precipitação máxima de 135 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,95	0,99	1,03	1,06	1,07	1,08	1,03
	Rio Mole	0,89	0,95	1,01	1,05	1,07	1,08	1,01
II	Carmo	0,95	1,00	1,05	1,08	1,10	1,11	1,05
	Cordeiro	0,91	0,94	0,98	1,00	1,01	1,02	0,98
	Ilha dos Pombos	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,03
	Nova Friburgo	0,98	1,03	1,08	1,11	1,13	1,14	1,08
	Sta M ^a Madalena	0,98	1,01	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Andorinhas	0,96	1,00	1,04	1,07	1,09	1,10	1,04
III	Cachoeiras Macacu	0,91	0,94	0,98	1,01	1,02	1,03	0,98
	Capela Mayrink	0,92	0,98	1,04	1,08	1,10	1,11	1,04
	Ecologia Agrícola	0,95	0,99	1,04	1,06	1,08	1,09	1,04
	Eletrobrás	0,92	0,95	0,99	1,02	1,03	1,04	0,99
	Escola União	0,94	0,98	1,01	1,04	1,05	1,06	1,01
	Faz. Coqueiro	0,94	0,98	1,02	1,05	1,07	1,08	1,02
	Faz. Sto Amaro	0,98	1,04	1,09	1,13	1,15	1,17	1,09
	Ilha Guaíba	0,93	0,97	1,02	1,04	1,06	1,07	1,01
	Japuíba	0,97	1,01	1,05	1,08	1,10	1,11	1,05
	Sambaetiba	0,97	1,01	1,06	1,09	1,10	1,11	1,06
	São Bento	0,98	1,03	1,09	1,13	1,15	1,16	1,09
	Tanguá	0,97	1,01	1,06	1,09	1,10	1,11	1,06
	Vassouras	0,90	0,94	0,99	1,03	1,04	1,06	0,99
Xerém	0,94	0,99	1,04	1,08	1,10	1,11	1,04	
V	Campos	0,95	1,01	1,06	1,09	1,11	1,13	1,06
	Macaé	0,88	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98	0,94
VI	Lajes	0,96	1,00	1,04	1,07	1,09	1,10	1,04
	Manuel Duarte	0,96	1,00	1,04	1,07	1,09	1,10	1,04
	Piraí	0,87	0,90	0,93	0,95	0,96	0,96	0,93
	Resende	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,90
	Santa Cecília	0,92	0,95	0,99	1,01	1,03	1,03	0,99
	Sta Isabel Rio Preto	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,07	1,03
	Tocos	0,95	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Vila Mambucaba	0,87	0,89	0,91	0,93	0,93	0,94	0,91

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 20. Relação entre a precipitação máxima de 150 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,96	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
	Rio Mole	0,91	0,96	1,02	1,05	1,07	1,08	1,01
II	Carmo	0,96	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
	Cordeiro	0,94	0,98	1,02	1,04	1,05	1,06	1,01
	Ilha dos Pombos	0,99	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Nova Friburgo	0,98	1,02	1,07	1,10	1,11	1,12	1,07
	Sta M ^a Madalena	1,00	1,04	1,07	1,10	1,11	1,12	1,07
	Andorinhas	0,97	1,00	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
III	Cachoeiras Macacu	0,93	0,96	0,99	1,01	1,02	1,03	0,99
	Capela Mayrink	0,94	0,98	1,04	1,07	1,09	1,10	1,04
	Ecologia Agrícola	0,96	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
	Eletrobrás	0,94	0,97	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
	Escola União	0,95	0,98	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Faz. Coqueiro	0,95	0,99	1,03	1,05	1,07	1,08	1,03
	Faz. Sto Amaro	0,99	1,04	1,10	1,13	1,15	1,16	1,09
	Ilha Guaíba	0,94	0,97	1,01	1,03	1,05	1,06	1,01
	Japuíba	0,98	1,02	1,07	1,09	1,11	1,12	1,07
	Sambaetiba	0,98	1,02	1,06	1,08	1,10	1,10	1,06
	São Bento	0,99	1,04	1,09	1,12	1,14	1,15	1,09
	Tanguá	0,97	1,00	1,04	1,06	1,08	1,09	1,04
	Vassouras	0,91	0,96	1,00	1,04	1,05	1,06	1,00
Xerém	0,95	1,00	1,04	1,07	1,09	1,10	1,04	
V	Campos	0,97	1,02	1,08	1,11	1,13	1,14	1,08
	Macaé	0,93	0,96	1,00	1,02	1,03	1,04	1,00
VI	Lajes	0,97	1,00	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
	Manuel Duarte	0,97	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
	Piraí	0,89	0,92	0,96	0,98	0,99	1,00	0,96
	Resende	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93
	Santa Cecília	0,95	0,98	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Sta Isabel Rio Preto	0,99	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Tocos	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,07	1,03
	Vila Mambucaba	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,91

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 21. Relação entre a precipitação máxima de 165 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,97	1,01	1,05	1,08	1,09	1,10	1,05
	Rio Mole	0,93	0,97	1,02	1,04	1,06	1,07	1,01
II	Carmo	0,98	1,01	1,05	1,08	1,09	1,10	1,05
	Cordeiro	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Ilha dos Pombos	1,00	1,02	1,05	1,06	1,07	1,08	1,05
	Nova Friburgo	0,98	1,01	1,05	1,07	1,09	1,09	1,05
	Sta M ^a Madalena	1,01	1,04	1,07	1,09	1,11	1,12	1,07
	Andorinhas	0,97	1,00	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
III	Cachoeiras Macacu	0,94	0,96	0,99	1,00	1,01	1,01	0,99
	Capela Mayrink	0,96	1,00	1,04	1,07	1,09	1,10	1,04
	Ecologia Agrícola	0,97	1,01	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Eletrobrás	0,95	0,97	0,99	1,01	1,01	1,02	0,99
	Escola União	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Faz. Coqueiro	0,97	1,00	1,04	1,06	1,07	1,08	1,03
	Faz. Sto Amaro	1,00	1,03	1,08	1,10	1,12	1,13	1,08
	Ilha Guaíba	0,95	0,98	1,01	1,03	1,04	1,05	1,01
	Japuíba	0,99	1,02	1,06	1,09	1,10	1,11	1,06
	Sambaetiba	0,99	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	São Bento	1,00	1,05	1,10	1,13	1,15	1,16	1,10
	Tanguá	0,98	1,01	1,04	1,06	1,07	1,07	1,04
	Vassouras	0,95	0,99	1,04	1,07	1,09	1,10	1,04
Xerém	0,96	1,00	1,04	1,07	1,09	1,10	1,04	
V	Campos	0,98	1,03	1,08	1,12	1,14	1,15	1,08
	Macaé	0,97	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,04
VI	Lajes	0,97	1,00	1,02	1,04	1,05	1,06	1,02
	Manuel Duarte	0,98	1,01	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
	Piraí	0,92	0,95	0,99	1,01	1,02	1,03	0,99
	Resende	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,96
	Santa Cecília	0,96	1,00	1,03	1,06	1,07	1,08	1,03
	Sta Isabel Rio Preto	0,99	1,01	1,04	1,05	1,06	1,06	1,04
	Tocos	0,99	1,01	1,04	1,06	1,07	1,07	1,04
	Vila Mambucaba	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,95

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 22. Relação entre a precipitação máxima de 180 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	0,98	1,02	1,06	1,08	1,09	1,10	1,06
	Rio Mole	0,95	0,98	1,01	1,04	1,05	1,06	1,01
II	Carmo	1,00	1,02	1,05	1,07	1,08	1,08	1,05
	Cordeiro	0,98	1,00	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Ilha dos Pombos	1,00	1,01	1,03	1,04	1,04	1,04	1,03
	Nova Friburgo	0,99	1,01	1,04	1,06	1,07	1,07	1,04
	Sta M ^a Madalena	1,01	1,04	1,07	1,09	1,10	1,11	1,07
	Andorinhas	0,98	1,00	1,01	1,03	1,03	1,04	1,01
III	Cachoeiras Macacu	0,96	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99
	Capela Mayrink	0,97	1,00	1,04	1,06	1,07	1,08	1,04
	Ecologia Agrícola	0,98	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Eletrobrás	0,96	0,97	0,99	1,00	1,00	1,01	0,99
	Escola União	0,97	1,00	1,02	1,04	1,05	1,05	1,02
	Faz. Coqueiro	0,98	1,01	1,04	1,06	1,07	1,07	1,04
	Faz. Sto Amaro	1,00	1,03	1,06	1,08	1,09	1,09	1,06
	Ilha Guaíba	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,05	1,02
	Japuíba	0,99	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Sambaetiba	0,99	1,01	1,02	1,04	1,04	1,05	1,02
	São Bento	1,01	1,06	1,11	1,14	1,16	1,17	1,11
	Tanguá	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,06	1,03
V	Vassouras	0,97	1,02	1,07	1,10	1,12	1,13	1,07
	Xerém	0,98	1,01	1,05	1,07	1,09	1,10	1,05
V	Campos	0,99	1,04	1,09	1,12	1,14	1,15	1,09
	Macaé	1,00	1,03	1,07	1,09	1,10	1,11	1,07
VI	Lajes	0,98	1,00	1,01	1,03	1,03	1,04	1,01
	Manuel Duarte	0,97	0,98	1,00	1,01	1,01	1,02	1,00
	Piraí	0,93	0,96	0,99	1,01	1,02	1,03	0,99
	Resende	0,96	0,97	0,99	1,00	1,00	1,01	0,99
	Santa Cecília	0,98	1,01	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Sta Isabel Rio Preto	1,00	1,02	1,04	1,05	1,06	1,06	1,04
	Tocos	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Vila Mambucaba	0,94	0,97	0,99	1,00	1,01	1,02	0,99

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.

Anexo 23. Relação entre a precipitação máxima de 210 min e a precipitação máxima de 240 min calculada com período de retorno de 5 a 100 anos em distintas localidades no Estado do Rio de Janeiro

Região*	Estação	Período de retorno						Média
		5	10	25	50	75	100	
I	Álcalis	1,01	1,04	1,08	1,10	1,11	1,12	1,08
	Rio Mole	0,98	0,99	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01
II	Carmo	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Cordeiro	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00
	Ilha dos Pombos	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Nova Friburgo	1,00	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,04
	Sta M ^a Madalena	1,01	1,03	1,06	1,07	1,08	1,09	1,06
	Andorinhas	0,99	1,00	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02
III	Cachoeiras Macacu	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,00
	Capela Mayrink	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,01
	Ecologia Agrícola	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Eletrobrás	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Escola União	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Faz. Coqueiro	0,99	1,00	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02
	Faz. Sto Amaro	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Ilha Guaíba	0,99	1,00	1,03	1,04	1,05	1,05	1,02
	Japuíba	1,00	1,01	1,03	1,04	1,04	1,04	1,03
	Sambaetiba	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	São Bento	1,01	1,03	1,06	1,08	1,09	1,09	1,06
	Tanguá	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02
V	Vassouras	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,03
	Xerém	0,99	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,04
V	Campos	1,00	1,03	1,06	1,08	1,10	1,10	1,06
	Macaé	1,01	1,03	1,05	1,06	1,07	1,07	1,05
VI	Lajes	0,99	1,00	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02
	Manuel Duarte	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Piraí	1,00	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09	1,05
	Resende	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01
	Santa Cecília	1,00	1,03	1,06	1,08	1,09	1,10	1,06
	Sta Isabel Rio Preto	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02
	Tocos	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01
	Vila Mambucaba	0,98	0,99	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01

*I - Baixadas Litorâneas; II - Centro Fluminense; III - Região Metropolitana; V - Norte Fluminense; e VI - Sul Fluminense.