

JÉSSICA BANDEIRA DE MELO CARVALHO PASSOS

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DE CHUVAS  
INTENSAS NA AUSÊNCIA DE DADOS PLUVIOGRÁFICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

J899a  
2017  
Passos, Jéssica Bandeira de Melo Carvalho, 1991-  
Avaliação de metodologias de estimativa de chuvas intensas  
na ausência de dados pluviográficos / Jéssica Bandeira de Melo  
Carvalho Passos. – Viçosa, MG, 2017.  
ix, 47f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Silvio Bueno Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.40-46.

1. Chuvas - Análises de frequências. 2. Hidrologia.  
3. Equações de intensidade-duração-frequência. 4. Desagregação  
de chuvas diárias. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 551.577

JÉSSICA BANDEIRA DE MELO CARVALHO PASSOS

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DE CHUVAS  
INTENSAS NA AUSÊNCIA DE DADOS PLUVIOGRÁFICOS**

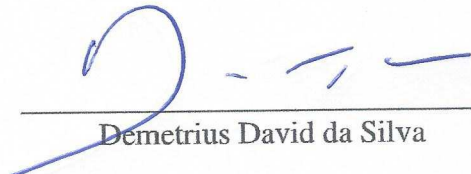
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de setembro de 2017.



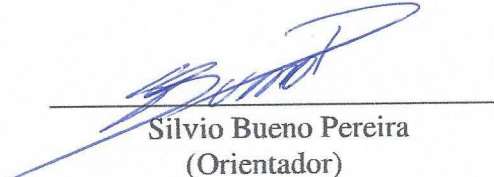
---

Roberto Avelino Cecílio



---

Demetrius David da Silva



---

Sílvio Bueno Pereira  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui não foi fácil! Muitas incertezas sobre estar seguindo o caminho certo e muitas dificuldades enfrentadas. Mas cada etapa valeu a pena e eu não teria conseguido superar mais esse desafio sem a ajuda de pessoas essenciais nessa jornada.

Diante disto, meus sinceros agradecimentos ao professor Silvio pela confiança, pelos ensinamentos, pela orientação na graduação e no mestrado. Sempre com paciência, bom humor e disponibilidade, me auxiliando em cada etapa e tornando possível a realização desta dissertação.

Agradeço também ao professor Demetrius pela melhor e mais dedicada coorientação. Seu apoio e conhecimentos foram fundamentais neste trabalho!

Ao professor Cecon, pela grande ajuda!

À minha família pelo amor e por acreditar em mim, sempre apoiando e incentivando minhas escolhas, sobretudo em relação aos estudos! À minha mãe Roberta, aos meus avós Maria Helena e Roberto, aos meus irmãos Hugo e Alice, aos tios Olívia e Lucas, primos Antônio e Maria Clara e à Anzinha. Vocês são a base para a concretização dos meus sonhos!

Ao Rafael pelo carinho, companheirismo nos momentos de estudo e diversão e por compartilhar comigo sonhos e planos para a vida!

Aos colegas do CRRH pela amizade, ótimo convívio, descontrações no cafezinho e trocas de experiências! Em especial ao Marcel, Laura, Luna e Rafael que contribuíram diretamente para a realização deste trabalho! Ao Felipe por desempenhar um ótimo papel de irmão de orientação e ao Ulisses por me tranquilizar e dividir as preocupações das disciplinas e da dissertação ao longo desses dois anos.

Às minhas companheiras de Viçosa, Duda, Carmen, Isa, Mari, Nanda e Dani por desempenharem tão bem o papel de uma família e aos amigos Karol, Vitor e Sâmara pela amizade.

À Monalisa pela companhia diária, lealdade e amor.

À toda equipe de professores e funcionários do departamento de Engenharia Agrícola da UFV pela oportunidade, em especial à Conceição pelo carinho.

À Agência Nacional de Águas pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho e à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

A Viçosa e à UFV por proporcionarem as experiências mais engrandecedoras da minha vida. Por fim, a todos que torcem por mim!

## **BIOGRAFIA**

JÉSSICA BANDEIRA DE MELO CARVALHO PASSOS, filha de Roberta Bandeira de Melo Carvalho e Roosevelt Delano Gouvêa Passos, nasceu no dia 10 de dezembro de 1991, na cidade de Muriaé, MG.

Em março de 2010 iniciou o curso de graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em julho de 2015.

Em agosto de 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na UFV, em nível de mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação em setembro de 2017.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vi
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Chuvas intensas.....	4
2.2. Distribuição de probabilidades para chuvas intensas.....	5
2.3. Equações de intensidade-duração-frequência (IDF).....	6
2.4. Desagregação de chuvas .....	7
2.5. Interpolação .....	8
2.6. Regionalização de chuvas intensas .....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. Área de estudo .....	11
3.2. Aquisição e processamento dos dados de precipitação.....	11
3.3. Ajuste dos modelos probabilísticos .....	13
3.4. Equações de chuvas intensas .....	14
3.5. Interpolação das intensidades máximas médias de precipitação pluvial .....	14
3.6. Desagregação de chuvas diárias .....	15
3.7. Comparação entre os métodos de determinação de chuvas intensas .....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4.1. Ajuste dos modelos probabilísticos .....	20
4.2. Equações de chuvas intensas .....	20
4.3. Desagregação de chuvas diárias .....	24
4.4. Comparação entre os métodos de determinação de chuvas intensas .....	31
5. CONCLUSÕES .....	39
6. REFERÊNCIAS .....	40
ANEXO I.....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das estações pluviográficas da rede hidrometeorológica da ANA na bacia do rio Doce. ....	13
Figura 2. Relações de chuvas em função do período de retorno para cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce. ....	30
Figura 3. Erro médio percentual (EMP) das intensidades máximas médias de precipitação pluvial calculadas por meio da metodologia de desagregação de chuvas diárias, em relação aos valores de $i_m$ obtidos pelas equações IDF para as 19 estações pluviográficas da bacia do rio Doce. ....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva segundo CETESB (1986).....	7
Tabela 2. Estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce, pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA.....	12
Tabela 3. Média ( $\bar{X}$ ) e desvio-padrão (S), em mm h <sup>-1</sup> , das séries anuais de intensidades máximas médias de precipitação com durações de 10 a 1440 minutos, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce.....	22
Tabela 4. Equações intensidade máxima média de precipitação pluvial ( $i_m$ ), em mm h <sup>-1</sup> , em função do período de retorno ( $T_R$ ), em anos, e da duração da precipitação (t), em minutos, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce.....	23
Tabela 5. Coeficientes de desagregação para as 19 estações pluviográficas e coeficientes de desagregação médios que representam toda a bacia do rio Doce.....	25
Tabela 6. Coeficientes de desagregação médios para as cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce.....	26
Tabela 7. Valores de p-valor obtidos pelo teste t de Student para comparação entre os coeficientes de desagregação de chuvas médios da bacia e de cada uma das 19 estações pluviográficas.....	26
Tabela 8. Valores de p-valor obtidos pelo teste t de Student para comparação entre os coeficientes de desagregação de chuvas médios das cinco regiões homogêneas e de cada uma das estações pluviográficas da bacia do rio Doce.....	27
Tabela 9. Coeficientes de desagregação de chuvas de 24 h associados aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos para as cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce.....	29
Tabela 10. Resultados de p-valor obtidos pelo teste t de Student, ao 5% de nível de significância, cuja hipótese $H_0$ é que o coeficiente angular entre os coeficientes de desagregação de chuvas e os períodos de retorno é igual a zero.....	31
Tabela 11. Valores de p-valor obtidos pelo teste t de Student para comparação entre as intensidades máximas médias de precipitação obtidas por interpolação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce.....	32
Tabela 12. Valores de p-valor obtidos pelo teste t de Student para comparação entre as intensidades máximas médias de precipitação obtidas pela desagregação de chuva diária e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce.....	32



Tabela 13. Índice de concordância de Willmott obtido a partir dos dados de intensidade máxima média de precipitação pela interpolação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce .....	33
Tabela 14. Índice de concordância de Willmott obtido a partir dos dados de intensidade máxima média de precipitação pelo método de desagregação de chuvas e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce .....	34
Tabela 15. Coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe obtidos por meio das intensidades máxima médias de precipitação obtidas por interpolação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce .....	35
Tabela 16. Coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe obtidos por meio das intensidades máxima médias de precipitação obtidas por desagregação de chuvas e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce.....	35
Tabela 17. Erro médio percentual (%) entre os dados de intensidade máxima média de precipitação obtidos pela interpolação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce .....	36
Tabela 18. Erro médio percentual (%) entre os dados de intensidade máxima média de precipitação obtidos pelo método de desagregação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce .....	36

## RESUMO

PASSOS, Jéssica Bandeira de Melo Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2017. **Avaliação de metodologias de estimativa de chuvas intensas na ausência de dados pluviográficos.** Orientador: Silvio Bueno Pereira.

As equações de intensidade-duração-frequência (IDF) da precipitação são a principal forma de caracterização das chuvas intensas, sendo uma importante ferramenta para o conhecimento do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas e conseqüentemente planejamento de práticas de conservação do solo e da água e projetos hidráulicos. No entanto, estas equações possuem validade apenas local e seu estabelecimento requer dados pluviográficos, os quais são escassos no Brasil. Por isso, metodologias alternativas às equações IDF vêm sendo empregadas para a estimativa de intensidade máxima média de precipitação pluvial ( $i_m$ ), em locais com ausência de registros pluviográficos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho das metodologias de interpolação de dados de chuvas e de desagregação de chuvas diárias em relação ao método convencional de obtenção das intensidades máximas médias de precipitação. A avaliação das metodologias se deu por meio do teste t de Student, índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) e erro médio percentual (EMP). Foram utilizados dados de chuva provenientes de 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce com durações (t) de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 min e associados aos períodos de retorno ( $T_R$ ) de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, por meio das distribuições probabilísticas teóricas Lognormal a dois e três parâmetros. Os coeficientes de desagregação de chuvas foram determinados para cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce e para cada  $T_R$ , uma vez que apresentaram variação com o período de retorno. Ambos os procedimentos não apresentaram bons resultados pelo teste t de Student, porém se mostraram adequado pelos demais critérios avaliados. O método da desagregação apresenta a vantagem de ser de fácil utilização e de agregar a informação local de altura precipitada na determinação da  $i_m$ . Sendo assim, as metodologias de interpolação e de desagregação de chuvas diárias se mostraram adequadas para a estimativa das intensidades máximas médias de precipitação pluvial em locais com ausência de dados pluviográficos.

## ABSTRACT

PASSOS, Jéssica Bandeira de Melo Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2017. **Evaluation of methods for the intense rainfall estimation in the absence of pluviograph data.** Adviser: Silvio Bueno Pereira.

The intensity-duration-frequency equations (IDF) of precipitation are the main form to characterize intense rainfall. It is an important tool for the knowledge of hydrological behavior of watersheds and consequently for the planning of soil and water conservation practices and hydraulics projects. However, these equations have only local validity and their establishment requires pluviograph data, which are scarce in Brazil. Therefore, alternative methodologies to the IDF equations have been used to estimate the mean maximum intensity of rainfall ( $i_m$ ), in places with no pluviograph records. The aim of this work was to evaluate the performance of methodologies of rainfall data interpolation and of daily rainfall disaggregation against the conventional method of obtaining the mean maximum precipitation intensities. The methodologies were evaluated using Student's t test, Willmott's concordance index (d), Nash and Sutcliffe efficiency coefficient (COE) and mean percentage error (MPE). Rainfall data from 19 rainfall stations located in the Doce River basin were used with durations (t) of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 240, 360, 720 and 1440 min and associated to the return periods ( $T_R$ ) of 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years, by means of the Lognormal probabilistic distributions with two and three parameters. The rainfall disaggregation coefficients were determined for five homogeneous regions of the Doce River basin and for each  $T_R$ , since they presented variation with the return period. Both procedures did not present good results by Student's t-test, but were adequate for the other evaluated criteria. The disaggregation method has the advantage of being user-friendly and of aggregating local information of precipitated height in the determination of  $i_m$ . Therefore, the methodologies of interpolation and disaggregation of daily rainfall were adequate for the estimation of mean maximum intensities of rainfall in places with no pluviograph data.

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da distribuição e das variações da chuva, tanto temporal quanto espacialmente, é importante para subsidiar estudos hidrológicos e o planejamento e a gestão do uso dos recursos hídricos (Cardoso et al., 1998). Prejuízos materiais e humanos são, frequentemente, causados por chuvas intensas, caracterizadas por apresentarem expressiva lâmina precipitada durante pequeno intervalo de tempo (Silva et al., 2003).

Estudos relacionados às chuvas intensas, também chamadas de chuvas extremas, são de grande relevância para o conhecimento do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas no tocante ao controle de cheias e inundações (Caldeira et al., 2015), bem como para a previsão de eventos extremos que influenciam na elaboração de obras de drenagem e nos mais diversos campos da engenharia, de modo especial no controle do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais (Santos et al., 2009; Santos et al., 2010).

A principal forma de caracterização das chuvas intensas é por meio das equações de intensidade-duração-frequência (IDF) da precipitação (Villela & Mattos, 1975). Para o estabelecimento destas equações são necessários os dados de intensidade de precipitação associados às diferentes durações de chuvas, informações estas que não podem ser obtidas com o uso de dados pluviométricos, sendo necessária a utilização de informações pluviográficas.

A Agência Nacional de Águas (ANA) tem investido na modernização da rede hidrometeorológica com a instalação de estações telemétricas, as quais fazem a aquisição automatizada de dados hidrológicos (ANA, 2011). Porém, o uso dos registros provenientes das estações pluviográficas convencionais continua sendo necessário para o

estudo de chuvas intensas, pois estas apresentam séries de dados mais extensas em comparação às estações telemétricas.

Segundo Back et al. (2012), dados de chuvas de duração menor que 24 h dificilmente são disponíveis devido à escassez de estações pluviográficas instaladas no Brasil e pelas séries de dados disponíveis serem relativamente curtas e apresentam muitas falhas. Ainda, as equações IDF são válidas apenas para o local em que foram ajustadas, uma vez que os dados utilizados para o estabelecimento da relação de chuvas intensas são pontuais, representando apenas a região onde a estação pluviográfica está instalada, sendo detectadas altas variabilidades dos parâmetros entre diferentes localidades (Silva et al., 2002; Silva et al., 2003; Heneker et al., 2001).

A ausência de estações pluviográficas e de séries históricas mais extensas nos diversos locais de interesse tem levado os engenheiros a utilizarem relações que permitam a estimativa da chuva crítica de projeto com base em dados pluviométricos (Oliveira et al., 2011). Algumas metodologias para a obtenção de chuvas de menor duração a partir de registros pluviométricos diários foram empregadas no Brasil (Back, 2009; Oliveira et al., 2011), sendo normalmente denominadas de metodologias de desagregação de chuvas.

A aplicação da metodologia de desagregação de chuvas possibilita a estimativa de chuvas de curta duração a partir da precipitação máxima diária anual monitorada por pluviômetros (Melo & Silva, 2013). Um trabalho pioneiro desenvolvido por CETESB (1986) estabeleceu as relações entre diversas durações de precipitação a partir de dados pluviográficos disponíveis em todo o território brasileiro, sendo amplamente empregadas em todo o Brasil, como nos estudos de Aragão et al. (2013) para o estado de Sergipe; Campos et al. (2014) para o estado do Piauí; Longo et al. (2006) para o município de Cascavel, PR; e Oliveira et al. (2005) para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. Diversos outros estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de obter coeficientes de desagregação específicos para determinadas localidades, como o de Back et al. (2012) para o estado de Santa Catarina; Damé et al. (2010) para a cidade de Pelotas, RS; e Pereira et al. (2014) para o estado do Mato Grosso do Sul.

Outra forma comumente usada para definir equação de chuvas intensas em localidades sem qualquer registro de chuva é por meio de técnicas de espacialização de informações (Pruski et al., 2006). Dentre os diversos métodos de interpolação utilizados em estudos hidrológicos, para estimativas das equações IDF, por meio da espacialização das intensidades máximas médias de precipitação, destacam-se krigagem simples,

krigagem ordinária, cokrigagem e inverso de uma potência da distância – IPD, utilizados no trabalho de Almeida (2017).

Nesse contexto, em decorrência da carência de informações pluviográficas nos diversos locais de interesse para fins de gestão de recursos hídricos no Brasil, metodologias alternativas às equações de intensidade-duração-frequência vêm sendo empregadas para a estimativa de intensidade máxima média de precipitação pluvial. Dessa forma, o presente trabalho tem como principal objetivo avaliar o desempenho de metodologias de estimativa das intensidades máximas médias de precipitação em locais com ausência de dados pluviográficos.

Os objetivos específicos do trabalho são: (i) estabelecer a relação entre intensidade-duração-frequência (IDF) da precipitação para as localidades da bacia do rio Doce com disponibilidade de registros pluviográficos; (ii) interpolar as intensidades máximas médias de precipitação, estimadas por meio das equações IDF, para toda a bacia do rio Doce; (iii) obter coeficientes de desagregação de chuvas diárias específicos para a área estudada e avaliar a influência do período de retorno nos valores dos coeficientes de desagregação; e (iv) comparar os valores de intensidade máxima média de precipitação pluvial estimados pelas equações IDF nas estações pluviográficas em estudo com aqueles obtidos por meio de interpolação e desagregação de chuvas diárias.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Chuvas intensas**

Estudos relacionados às chuvas intensas, também chamadas de chuvas extremas, são aplicados para o conhecimento do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas no tocante ao controle de cheias e inundações (Caldeira et al., 2015), sendo importantes em projetos hidráulicos de vertedouros, barragens, canais, sistemas de drenagem e irrigação, galerias pluviais, bueiros e desvios de cursos d'água (Cardoso et al., 1998).

As chuvas intensas são caracterizadas por apresentarem expressivas lâminas precipitadas em pequenos intervalos de tempo (Silva et al., 2003), podendo causar elevada concentração de escoamento superficial e provocar prejuízos tanto em áreas urbanas quanto em áreas agrícolas, como inundação de terras cultivadas, erosão do solo, perdas de nutrientes, assoreamento de corpos da água, dentre outros (Cecílio et al., 2009).

Para projetos de obras hidráulicas e agrícolas é de suma importância o conhecimento da intensidade, duração e frequência de ocorrência das chuvas intensas (Damé et al., 2008). Essa relação é comumente denominada de intensidade-duração-frequência (IDF) e sua determinação deve ser oriunda das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos do local (Tucci, 2007).

## 2.2. Distribuição de probabilidades para chuvas intensas

O registro da variabilidade temporal de dados hidrológicos possibilita estimativas probabilísticas de eventos extremos. Para tanto, foi desenvolvida a teoria de probabilidades possibilitando a estimativa de eventos hidrológicos associados às diferentes frequências de ocorrência, com base em modelos matemáticos, os quais são estruturados em parâmetros estimados pela inferência estatística (Naghetini & Pinto, 2007).

Inúmeros são os modelos de distribuição de probabilidades aplicados às variáveis aleatórias contínuas, como é o caso de chuvas máximas diárias anuais (Caldeira et al., 2015). Naghetini & Pinto (2007) recomendam, para o ajuste de valores extremos máximos, as distribuições Gumbel, Frechet, Generalizada de Valores Extremos (GEV), Lognormal a dois e três parâmetros, LogPearson e Pearson tipo III.

Apesar da distribuição de Gumbel ser amplamente empregada nos estudos de chuvas intensas (Back et al., 2012; Freire et al., 2013; Garcia et al., 2011; Silva Neto et al., 2017; Teodoro et al., 2014), a escolha e a definição da distribuição que melhor se ajusta ao conjunto de dados em análise deve ser realizada comparando-se as frequências teóricas às frequências observadas por meio de testes estatísticos não paramétricos (Melo & Silva, 2013), denominados comumente de testes de aderência.

Segundo Naghetini & Pinto (2007), os principais testes de aderência empregados na hidrologia estatística são Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e o de Filliben.

Na análise de séries históricas de precipitação máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Verde, MG, Franco et al. (2014) utilizaram os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Anderson-Darling e Filliben para identificar, dentre três distribuições probabilísticas teóricas, qual a mais indicada para os dados da bacia. A distribuição de Gumbel foi a que apresentou os ajustes menos adequados e a distribuição de GEV foi a mais adequada para análise probabilística da região estudada.

Campos et al. (2014) testaram as distribuições de probabilidade de Gumbel, Lognormal a dois e três parâmetros, Pearson e Logpearson tipo III nos dados de precipitação máxima diária anual para o estado do Piauí. Para cada estação os dados de precipitação foram gerados de acordo com os modelos que melhor se ajustaram, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov e o menor erro padrão da estimativa.



### 2.3. Equações de intensidade-duração-frequência (IDF)

As chuvas intensas são representadas através de equações matemáticas, sendo o modelo empírico mais utilizado para relacionar intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial, segundo Villela & Mattos (1975), apresentado na Eq. 1.

$$i_m = \frac{KT_R^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

em que,

$i_m$  - intensidade máxima média de precipitação,  $\text{mm h}^{-1}$ ;

$T_R$  - período de retorno, anos;

$t$  - duração da precipitação, min; e

$K, a, b, c$  - parâmetros empíricos ajustados a cada localidade com registros pluviográficos.

De acordo com a relação apresentada, a intensidade máxima média de precipitação é diretamente proporcional ao período de retorno e inversamente proporcional à duração da precipitação. Assim, as maiores magnitudes das intensidades de precipitação estão associadas às menores durações e aos maiores períodos de retorno.

Para determinação dos parâmetros das equações IDF são utilizados registros de precipitação provenientes de estações pluviográficas, uma vez que são necessários dados altura máxima precipitada associada à diferentes durações. Cecílio & Pruski (2003) destacam que tal metodologia exige um exaustivo trabalho para tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de dados pluviográficos.

Silva et al. (2002) obtiveram equações de intensidade-duração-frequência para 19 estações pluviográficas no estado da Bahia e constataram grande variabilidade dos valores de intensidade máxima média de precipitação, para uma mesma duração, entre as localidades estudadas. Já Silva et al. (2003) determinaram equações IDF para 10 estações pluviográficas do estado do Tocantins e os parâmetros das equações também apresentaram alta variabilidade entre as estações, demonstrando a importância da obtenção de equações IDF específicas para cada localidade de interesse.

No Brasil, existe relativa facilidade de se obter dados de chuva de duração diária, provenientes de estações pluviométricas). Entretanto, dados de chuvas de menor duração dificilmente são disponíveis devido à escassez de equipamentos registradores e, quando

existem, são séries relativamente curtas que apresentam falhas nos registros dos dados (Back et al., 2012).

Diante das dificuldades e limitações na obtenção das equações IDF, algumas alternativas vêm sendo utilizadas para a determinação das intensidades máximas médias de precipitação. Dentre essas metodologias destacam-se o método de desagregação de chuvas e a interpolação dos dados de precipitação.

## 2.4. Desagregação de chuvas

A metodologia de desagregação de chuvas consiste em relacionar, inicialmente, a chuva de 1 dia, obtida em pluviômetros, com a chuva de um período de 24 horas e, desta, para tempos menores através do emprego de coeficientes de desagregação (Aragão et al., 2013). Vale lembrar que a precipitação de 1 dia se refere àquela obtida por pluviômetros com intervalo fixo de 24 horas, como acontece nas séries históricas das estações da rede da ANA, em que as leituras são sempre feitas às 7 horas, enquanto a precipitação de 24 horas é referente àquela obtida por pluviógrafos sem fixação do início da contagem do tempo, ou seja, considerando-se um período qualquer de 24 horas (Borges & Thebaldi, 2016).

Um estudo pioneiro, tido ainda hoje como referência para estudos de desagregação de chuvas no Brasil, foi realizado pela CETESB (1986), gerando coeficientes de desagregação (Tabela 1) que, aplicados, relacionam a chuva de um dia com chuvas de menores durações. Para cada relação os valores encontrados para os períodos de retorno de 2 a 100 anos foram bastante próximos e, em função disso, CETESB (1986) indica que os valores dos coeficientes de desagregação independem do período de retorno.

Tabela 1. Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva segundo CETESB (1986)

Relação de duração	24h/1d	12h/24h	10h/24h	8h/24h	6h/24h	3h/24h	2h/24h
Coeficiente	1,14	0,85	0,82	0,78	0,72	0,54	0,48
Relação de duração	1h/24h	30min/1h	25min/30min	20min/30min	15min/30min	10min/30min	5min/30min
Coeficiente	0,42	0,74	0,91	0,81	0,70	0,54	0,34

De acordo com a CETESB (1986) as relações apresentadas foram obtidas para uma média nacional, devido à escassez de dados pluviográficos no país. Segundo

Genovez & Zuffo (2000), esses valores necessitam ser atualizados, por se tratar de um estudo feito há muito tempo, baseado nas curvas de intensidade-duração-frequência para 98 localidades do Brasil obtidas por Pfafstetter (1957), utilizando períodos de dados muito curtos sendo, para a maioria dos locais, da ordem de 10 anos de registros pluviográficos.

Alguns estudos já vêm sendo conduzidos para a obtenção dessas relações específicas para cada localidade. Back et al. (2012) determinaram as relações entre precipitações de diferentes durações para o estado de Santa Catarina e, ao comparar as relações médias do estado com as relações médias da CETESB (1986), observaram que a diferença foi inferior a 5% no interior do estado, enquanto no litoral os valores variaram em até 50%.

## **2.5. Interpolação**

Interpoladores são ferramentas matemáticas que atribuem valores relativos a alguma variável, em pontos inseridos em um campo de valores já existente, transformando dados discretos em contínuos (Castro et al., 2010). A interpolação espacial de variáveis meteorológicas é uma prática usual quando se deseja saber o comportamento dessas variáveis em regiões onde as informações primárias são ausentes (Miranda, 2010).

Métodos de interpolação espacial têm sido utilizados para estimativas e espacialização de parâmetros climáticos, dentre eles os geoestatísticos (krigagem) e determinísticos (inverso da distância elevado a uma potência - IPD), sendo importante a avaliação do desempenho dos interpoladores para cada variável estudada (Castro et al., 2010).

O método IPD é a técnica de interpolação mais simples. Baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores (Senna et al., 2010). Dessa forma, atribui maior peso para as observações mais próximas comparativamente às mais distantes (Reis et al., 2005).

Segundo Carvalho & Assad (2005), a krigagem usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima, constituindo-se num ótimo estimador.

A qualidade do estimador pode ser avaliada por meio da validação cruzada, isto é, comparação entre os dados reais e suas respectivas estimativas. Este método consiste em, uma vez escolhido o interpolador, retirar de cada uma das amostras parte dos dados originais e, para a sua posição no espaço, realizar a sua estimativa pelo interpolador escolhido (Xavier et al., 2010).

Pruski et al. (2002), usando técnicas de interpolação, desenvolveram o software PLÚVIO 1.3 – Chuvas Intensas para o Brasil, que permite a determinação da equação de chuvas intensas para qualquer localidade dos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo. A interpolação é realizada independentemente para cada um dos parâmetros desta equação, sendo o fator de ponderação utilizado correspondente ao inverso do quadrado da distância entre a localidade para a qual a equação é desejada e as localidades em que o parâmetro é conhecido (Cecílio & Pruski, 2003).

No entanto, os resultados obtidos com a utilização de procedimentos de interpolação espacial dos parâmetros das equações de chuvas intensas, em geral, não têm apresentado consistência, isto é, não fornecem boas estimativas de intensidades de precipitação (Xavier et al., 2014). No trabalho de interpolação dos parâmetros das equações IDF para o Espírito Santo, Cecílio et al. (2009) não constataram, nos interpoladores avaliados, estimativas satisfatórias das intensidades de precipitação de chuvas intensas de longa duração. Dessa maneira, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos com a interpolação da intensidade máxima de precipitação e não dos parâmetros da equação (Almeida, 2017; Santos et al., 2009; Xavier et al., 2014).

Almeida (2017), visando obter parâmetros da equação de chuvas intensas para os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, espacializou dados de intensidade máxima média de precipitação ( $i_m$ ) usando combinações entre seis períodos de retorno e 16 durações, totalizando 96 mapas de  $i_m$ . Na interpolação, foram avaliados os interpoladores: krigagem simples, ordinária, cokrigagem e inverso de uma potência da distância (IPD), com a potência variando de um a seis. O procedimento de interpolação espacial que apresentou melhor desempenho foi o interpolador determinístico IPD e, dentre as seis potências analisadas, a que apresentou melhor resultado na espacialização da  $i_m$  foi a potência um, em todas as 96 combinações.

## 2.6. Regionalização de chuvas intensas

A regionalização de chuvas intensas consiste na transferência de informações de um local para outro, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante (Valverde et al., 2003).

O estabelecimento de metodologias apropriadas para definir o comportamento pluvial em nível regional é de suma importância para suprir as deficiências das informações hidroclimáticas como, por exemplo, nas tomadas de decisões para o planejamento do uso dos recursos hídricos sob o ponto de vista agrícola, urbano e energético (Melo Júnior et al., 2005).

Uma região é considerada homogênea quando existem evidências suficientes de que as diferentes amostras do grupo possuem a mesma distribuição de frequência, à exceção de um fator de escala local (Valverde et al., 2003).

Um dos métodos mais utilizados para se classificar objetos em categorias de similaridade é a análise de agrupamento (cluster analysis) (Keller Filho et al., 2005). A análise de agrupamento tem por finalidade reunir, segundo um critério de classificação, os indivíduos em vários grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos (Cruz & Regazzi, 1997). Esta análise envolve basicamente duas etapas: a primeira diz respeito à estimação de uma medida de similaridade (ou dissimilaridade) entre os indivíduos ou populações a serem agrupados e, a segunda, a adoção de um método de agrupamento para formação dos conglomerados (Cruz & Regazzi, 1997).

Valverde et al. (2003) realizaram um estudo de regiões homogêneas na bacia do rio Doce no qual foram agrupadas as 31 estações pluviográficas pertencentes às redes hidrometeorológicas da ANA, do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) em regiões homogêneas. As estações foram agrupadas em cinco regiões utilizando-se os métodos aglomerativos hierárquicos de Ward e de K-médias, tendo a distância Euclidiana ao quadrado e a distância Euclidiana simples como medidas de similaridade, respectivamente. Na sequência, foram aplicados os critérios das análises estatísticas de medida de discordância (Di) e heterogeneidade (H) às estações intragrupo, verificando-se que estas foram não-discordantes e localizadas em uma região homogênea. Ressalta-se que a denominação de região homogênea se deu ao conjunto de estações homogêneas, visto que não houve delimitação de uma região propriamente dita.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Doce situa-se na região Sudeste, na faixa tropical do hemisfério sul, entre os paralelos 17°45' e 21°15' S e os meridianos 39°30' e 43°45' W. Com uma área de drenagem de 86.715 km<sup>2</sup>, dos quais 86% pertencem ao estado de Minas Gerais e o restante ao Espírito Santo, abrange um total de 230 municípios (PIRH DOCE, 2010).

Segundo a classificação climática de Köppen desenvolvida por Alvares et al. (2013), a bacia do rio Doce está dividida em seis classes distintas, porém três dessas classes predominam em 95% de sua área: i) Aw - clima tropical com estação seca de inverno; ii) Cwa - clima temperado úmido com inverno seco e verão quente; e iii) Cwb - clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado.

#### **3.2. Aquisição e processamento dos dados de precipitação**

Foram utilizados registros pluviográficos da rede hidrometeorológica da ANA, provenientes de 19 estações pluviográficas ativas localizadas na bacia do rio Doce (Tabela 2). Estes dados foram disponibilizados pela ANA, uma vez que os pluviogramas não são disponíveis na internet. Devido às estações não apresentarem períodos de dados coincidentes e terem sido disponibilizados dados entre os anos de 1974 a 2008, não foi utilizado um período base no estudo e sim séries históricas contendo de 8 a 20 anos com o intuito de se obter o maior número de informações sobre chuvas intensas.

Tabela 2. Estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce, pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA

Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de observações	Número de anos
Tumiritinga	01841011	-18,9764	-41,6403	135	1984 - 2007	15
Pancas	01940009	-19,2203	-40,8533	135	1990 - 2007	14
Caldeirão	01940020	-19,955	-40,7417	750	1977 - 2008	18
Barra do Cuieté - Jusante	01941005	-19,0617	-41,5328	0	1975 - 2008	20
Assarai - Montante	01941006	-19,5947	-41,4581	172	1991 - 2008	12
Alto Rio Novo	01941012	-19,0592	-41,0275	500	1991 - 2008	11
Dom Cavati	01942008	-19,3736	-42,105	355	1977 - 2008	16
Cenibra	01942030	-19,3164	-42,3961	0	1990 - 2008	14
Cachoeira dos Óculos	01942031	-19,8158	-42,4769	0	1996 - 2008	9
Naque Velho	01942032	-19,1886	-42,4228	240	1998 - 2008	10
Conceição do Mato Dentro	01943002	-19,0167	-43,4442	675	1986 - 2008	17
Ferros	01943003	-19,2503	-43,0144	470	1991 - 2008	14
Morro do Pilar	01943025	-19,2175	-43,3742	560	1974 - 2008	18
Raul Soares - Montante	02042008	-20,1036	-42,44	305	1990 - 2008	13
Ponte Nova - Jusante	02042018	-20,3847	-42,9028	350	1978 - 2008	14
Acaiaca - Jusante	02043009	-20,3625	-43,1439	423	1998 - 2007	8
Piranga	02043010	-20,6906	-43,2994	620	1991 - 2008	10
Braz Pires	02043026	-20,8475	-43,2419	632	1998 - 2008	9
Desterro de Melo	02143003	-21,1492	-43,52	780	2000 - 2008	8

Na Figura 1 está apresentada a localização das estações pluviográficas em estudo, bem como as regiões homogêneas em relação às chuvas intensas, às quais pertencem, segundo Valverde et al. (2003). No estudo de Valverde et al. (2003) foram utilizadas 31 estações pluviográficas, sendo 19 delas utilizadas no presente trabalho e vale lembrar que não houve delimitação da região homogênea propriamente dita e sim a divisão das regiões em função das estações consideradas homogêneas.

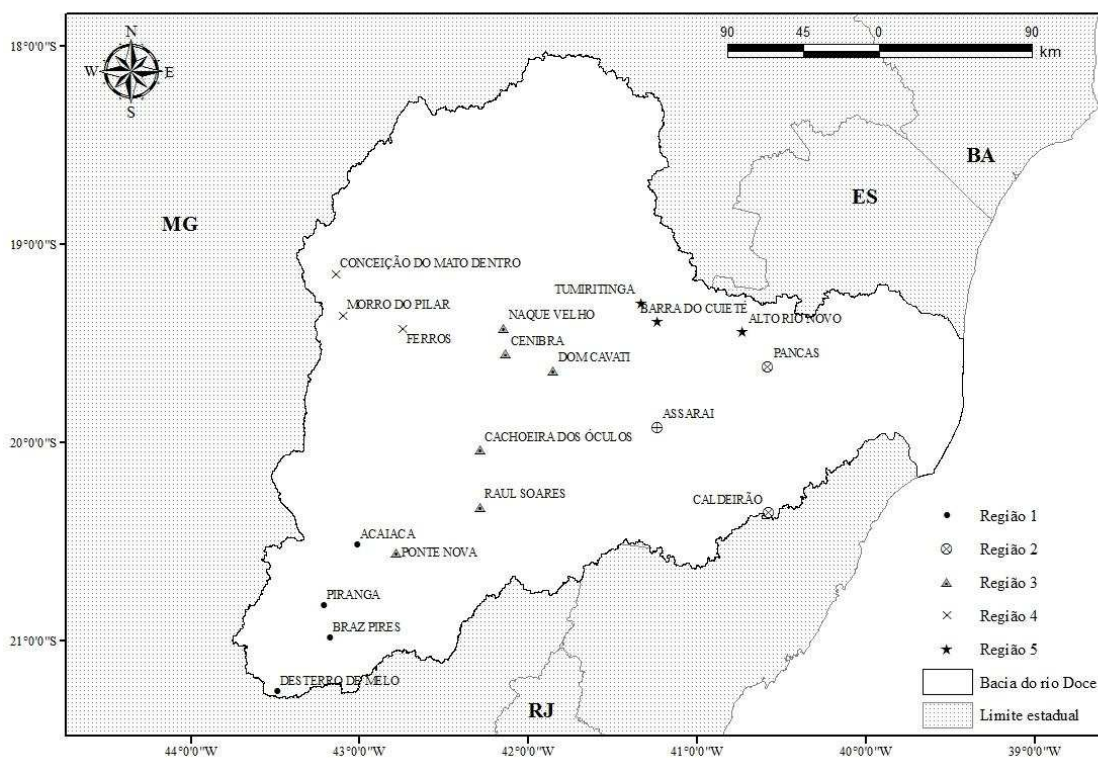


Figura 1. Localização das estações pluviográficas da rede hidrometeorológica da ANA na bacia do rio Doce.

A partir das séries anuais de dados pluviográficos foram obtidas, por meio de planilha eletrônica desenvolvida para esse fim, as séries de alturas pluviométricas máximas anuais associadas às durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 minutos, para cada estação pluviográfica. Pela relação entre as alturas pluviométricas máximas e suas correspondentes durações, foram determinadas as intensidades máximas médias de precipitação pluvial ( $i_m$ ).

### 3.3. Ajuste dos modelos probabilísticos

Visando relacionar a magnitude dos eventos com sua frequência de ocorrência, fez-se uso de distribuições probabilísticas teóricas (Naghettini & Pinto, 2007) para fins de obtenção da  $i_m$  associada aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Para tal, para cada duração de precipitação analisada, as séries históricas foram submetidas à análise estatística para a identificação do modelo probabilístico que melhor se ajustasse aos dados. As distribuições de eventos extremos máximos testadas foram: Gumbel,



Pearson III, LogPearson III e Lognormal a dois e três parâmetros, assim como nos estudos de Campos et al. (2014).

A análise probabilística dos dados foi realizada com auxílio do software SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológica, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os critérios estatísticos, adotados pelo software, para seleção do modelo que melhor se adequou aos dados, foram o menor erro padrão pertinente a cada função de probabilidade e menor amplitude do intervalo de confiança, ao nível de confiança de 95% (Sousa et al., 2009).

### **3.4. Equações de chuvas intensas**

Os parâmetros das equações de intensidade-duração-frequência foram obtidos, para cada estação pluviográfica, por meio do método de regressão não-linear Gauss-Newton (Pereira et al., 2014), com o auxílio do software R. Para isto, foram utilizadas as séries históricas de intensidade máxima média de precipitação, com 66 combinações entre 11 durações (10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 minutos) e 6 períodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos). A avaliação do ajuste dos coeficientes da equação IDF foi feita com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e no erro padrão da estimativa (EPE), assim como nos estudos de Aragão et al. (2013).

### **3.5. Interpolação das intensidades máximas médias de precipitação pluvial**

A espacialização das chuvas intensas para os locais da bacia hidrográfica com ausência de dados pluviográficos se deu a partir da interpolação dos dados de intensidade máxima média de precipitação obtidos pelas equações IDF estabelecidas para cada uma das 19 estações pluviográficas. Destaca-se, portanto, que não foi feita a interpolação dos parâmetros das equações IDF obtidas para cada localidade, mas sim dos valores de  $i_m$  associados às 66 combinações entre períodos de retorno e durações

O método de interpolação utilizado foi o inverso de uma potência da distância (IPD) com potência igual a um, uma vez que nos estudos de Almeida (2017), para os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, o procedimento de interpolação espacial que apresentou melhor desempenho foi o interpolador determinístico IPD e, dentre as seis potências analisadas, a que apresentou melhor resultado na espacialização

da  $i_m$  foi a potência um. A interpolação da  $i_m$  se deu para pixels de dimensões de 1 km x 1 km, em toda a bacia hidrográfica, com auxílio do software Arcgis.

Neste procedimento de interpolação, o valor atribuído à célula interpolada foi obtido pela média ponderada que utiliza o peso dos postos de controle mais próximos ponderados pelo inverso da potência da distância, conforme a Eq. 2.

$$\bar{P}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i}{d_i^m} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^m} \right)} \quad (2)$$

em que,

$\bar{P}_i$  – valor estimado na posição interpolada;

$P_i$  – valor conhecido do  $i$ -ésimo posto de controle;

$d_i$  – distância euclidiana entre o  $P_i$  e  $\bar{P}_i$ ;

$m$  – potência da distância euclidiana, que no presente trabalho foi igual a um; e

$n$  – número de estações consideradas.

Para avaliar se as intensidades máximas médias de precipitação foram previstas adequadamente pela interpolação foi utilizado o método de validação cruzada. Para tal, extraiu-se, em cada análise, uma das 19 estações pluviográficas de estudo e interpolou-se as intensidades de precipitação de 18 estações para fins predição da  $i_m$  no local da estação extraída. Após a realização da interpolação, a estação extraída foi recolocada na base de dados, uma outra foi retirada e o mesmo procedimento foi realizado com todas as demais estações. Desta forma, para cada uma das estações extraídas, foi possível comparar os valores reais e estimados das chuvas intensas.

### 3.6. Desagregação de chuvas diárias

Os coeficientes de desagregação de chuvas (CD) foram obtidos pelo método da relação entre durações, que consiste na razão entre os valores médios das lâminas precipitadas de diferentes durações (Eq. 3). Para tal, foram utilizadas séries históricas de altura pluviométrica com duração de 10, 20, 30, 40, 50 min, 1, 2, 4, 6, 12, 24 h e 1 dia, para cada estação pluviográfica em estudo. Os coeficientes foram estimados para as

seguintes relações entre alturas pluviométricas: 24h/1dia, 12h/24h, 6h/24h, 4h/24h, 2h/24h, 1h/24h, 50min/1h, 40min/1h, 30min/1h, 20min/30min, 10min/30min

$$r_{t_1/t_2} = \frac{\text{precipitação de duração } t_1}{\text{precipitação de duração } t_2} \quad (3)$$

em que,

$r_{t_1/t_2}$  - coeficiente que caracteriza a relação entre chuvas intensas de duração  $t_1$  e  $t_2$ .

Visando obter coeficientes de desagregação médios que possam ser utilizados em locais da bacia que disponham apenas de dados pluviométricos e não apenas para as localidades nas quais foram definidos, estimaram-se valores de coeficientes médios para as cinco regiões homogêneas da bacia propostas por Valverde et al. (2003) e, também, um único valor de cada coeficiente de desagregação para toda a bacia do rio Doce.

Para verificar se os valores dos coeficientes médios de desagregação de cada região foram estatisticamente iguais aos coeficientes de cada estação pluviográfica, realizou-se uma análise de comparação de médias, ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%, por meio do teste t de Student.

As hipóteses nula ( $H_0$ ) e alternativa ( $H_a$ ) testadas foram:

$H_0$ : o coeficiente de desagregação médio de uma determinada relação de chuva  $i$ , calculado para a uma região homogênea  $k$  ( $CD_{ik}$ ), é igual ao coeficiente de desagregação da mesma relação de chuva  $i$  de uma estação pluviográfica  $j$  localizada dentro da região homogênea  $k$  ( $CD_{ij}$ ).

$H_a$ : o coeficiente de desagregação médio de uma determinada relação de chuva  $i$ , calculado para a uma região homogênea  $k$  ( $CD_{ik}$ ), é diferente do coeficiente de desagregação da mesma relação de chuva  $i$  de uma estação pluviográfica  $j$  localizada dentro da região homogênea  $k$  ( $CD_{ij}$ ).

Nos casos em que os valores de p-valor encontrados pela estatística do teste foram maiores que o nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ), não se rejeitou a hipótese  $H_0$  e, portanto, não houve diferença significativa entre os valores de CD da região homogênea e da estação pluviográfica

A mesma análise de comparação de médias foi feita para os valores dos coeficientes médios calculados para toda a bacia. Neste caso as hipóteses  $H_0$  e  $H_a$  testadas foram:

$H_0$ : o coeficiente de desagregação médio de uma determinada relação de chuva  $i$  ( $cd_i$ ) da bacia é igual ao coeficiente de desagregação da mesma relação de chuva  $i$  de uma estação pluviográfica  $j$  ( $CD_{ij}$ ).

$H_a$ : o coeficiente de desagregação médio de uma determinada relação de chuva  $i$  ( $cd_i$ ) da bacia é diferente do coeficiente de desagregação da mesma relação de chuva de uma estação pluviográfica  $j$  ( $CD_{ij}$ ).

No intuito de avaliar a influência do período de retorno nos valores dos coeficientes de desagregação, estes foram estimados por meio das séries de altura pluviométrica máxima com diferentes durações e associadas aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Os coeficientes de desagregação e períodos de retorno foram relacionados graficamente e esperou-se uma tendência de as curvas geradas serem paralelas ao eixo das abcissas, ou seja, com coeficiente angular ( $\beta_1$ ) igual a zero, representando um modelo linear, uma vez que segundo CETESB (1986), os valores dos coeficientes de desagregação independem do período de retorno.

A verificação da influência dos períodos de retorno nos coeficientes de desagregação de chuvas intensas se deu por meio do teste  $t$  de Student ao nível 5% de significância.

Assim, as hipóteses nula ( $H_0$ ) e alternativa ( $H_a$ ) testadas foram:

$$H_0: \beta_1=0$$

$$H_a: \beta_1 \neq 0$$

A Eq. 4 apresenta a estatística do teste  $t$ :

$$t = \frac{\beta_1}{\sqrt{\hat{V}(\beta_1)}} \quad (4)$$

em que,

$\beta_1$  – coeficiente angular; e

$\hat{V}$  – variância.

Tomadas as decisões a respeito dos valores dos coeficientes de desagregação para a área de estudo, estimaram-se as intensidades máximas médias de precipitação pelo método de desagregação de chuvas. Para isso, as precipitações máximas diárias anuais

associadas aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos foram desagregados para os tempos de 10 a 1440 min e, então, os valores de  $i_m$  foram obtidos pelas relações entre as alturas pluviométricas e suas respectivas durações.

### 3.7. Comparação entre os métodos de determinação de chuvas intensas

Os resultados de intensidade máxima média de precipitação obtidos pelos métodos de interpolação de  $i_m$  e de desagregação de chuvas diárias foram comparados com os resultados obtidos pelas equações IDF, uma vez que este é o método convencionalmente utilizado para esta determinação. O desempenho dos métodos foi avaliado com base no teste t de Student (Damé et al., 2008), índice de Willmott – d (Fiorio et al., 2012; Pereira et al., 2014), coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe – COE (Baltokoski et al., 2010) e erro médio percentual – EMP (Silva et al., 2011). Tais procedimentos foram aplicados para todos os dados de cada estação pluviográfica, gerando um único resultado para cada estação, e também para os diferentes períodos de retorno, resultando em seis valores para cada  $T_R$  e estação.

A partir do teste t de Student foi testada a hipótese nula ( $H_0$ ) de que o modelo linear, entre os valores de intensidade máxima média de precipitação estimados e obtidos pela equação IDF apresentou coeficiente angular ( $\beta_1$ ) igual a 1. Assim, quando p-valor foi menor que o nível de significância ( $\alpha = 5\%$ ) rejeitou-se a hipótese  $H_0$  e, conseqüentemente, os valores de  $i_m$  estimados e obtidos pela equação IDF não são iguais na proporção de 1:1. As hipóteses nula ( $H_0$ ) e alternativa ( $H_a$ ) testadas foram:

$$H_0: \beta_1=1$$

$$H_a: \beta_1 \neq 1$$

Com o objetivo de avaliar os desvios entre os valores das intensidades máximas médias de precipitação obtidos pelos métodos de desagregação e interpolação em relação ao método IDF, foi calculado o índice de concordância de Willmott. Esse índice assume o valores de zero a um e, quanto menor o desvio, melhor o desempenho do modelo avaliado e mais próximo da unidade é o índice de concordância (Fiorio et al., 2012; Pereira et al., 2014).

$$d=1-\left[\frac{\sum(E_i-O_i)^2}{\sum(|E_i-O_i|+|O_i-O_i|)^2}\right] \quad (5)$$

em que,

$E_i$  – valor estimado pelo método alternativo;

$O_i$  – valor estimado pelo método padrão; e

$O$  – média dos valores estimados pelo método padrão.

O coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) foi utilizado para avaliar o ajuste das metodologias de estimativa de intensidade máxima média de precipitação. O COE pode variar entre negativo infinito a um, sendo a unidade um indicativo de um perfeito ajuste (Machado & Vettorazzi, 2003). O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de COE supera 0,75, e é considerado aceitável se o valor do coeficiente fica entre 0,36 e 0,75 (Collischonn, 2001).

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - E)^2} \quad (6)$$

em que,

$E_i$  – valor estimado pelo método alternativo;

$E$  - média dos valores estimados pelo método alternativo; e

$O_i$  – valor estimado pelo método padrão.

O erro médio percentual indica, em termos percentuais, se o modelo está subestimando ( $EMP > 0$ ) ou superestimando ( $EMP < 0$ ) o valor observado.

$$EMP = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \frac{O_i - E_i}{O_i} \right)}{J} 100 \quad (7)$$

em que,

$E_i$  – valor estimado pelo método alternativo;

$O_i$  – valor estimado pelo método padrão; e

$J$  - número de observações.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Ajuste dos modelos probabilísticos**

Das cinco distribuições probabilísticas testadas para as séries históricas de precipitação associadas a diferentes durações, aquelas que melhor se ajustaram aos dados da maior parte das estações pluviográficas foram Lognormal a dois e três parâmetros, considerando que apresentaram o menor erro padrão da estimativa e menor amplitude do intervalo de confiança. As distribuições de Gumbel, Pearson III e Logpearson III, nessa ordem, apresentaram ajuste adequado aos dados em menor número de ocorrências.

### **4.2. Equações de chuvas intensas**

Na Tabela 3 estão apresentados os valores das médias e dos desvios-padrão das séries anuais de intensidade máxima média de precipitação correspondentes às durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 minutos, para cada uma das 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce.

Analisando os dados da Tabela 3, nota-se que com o aumento da duração das precipitações ocorreu um expressivo decréscimo nas intensidades máximas médias de precipitação pluvial. Para uma determinada estação pluviográfica e duração, o alto desvio-padrão reflete grande variabilidade dos valores de  $i_m$  ao longo dos anos das séries históricas de precipitação, sobretudo para as menores durações. As altas amplitudes entre os valores de  $i_m$  indicam uma grande variabilidade entre as intensidades máximas médias

de precipitação das estações em análise, para uma mesma duração, sendo a maior de 26,8 mm h<sup>-1</sup> para 10 minutos e a mais baixa de 1,5 mm h<sup>-1</sup> para 1440 minutos.

Devido às grandes diferenças observadas entre as intensidades máximas médias de precipitação pluvial, obtidas nas diferentes estações para cada duração, justifica-se a necessidade de obtenção de equações específicas para cada localidade, no intuito de melhor representar as reais condições das chuvas intensas para a área de interesse (Freitas et al., 2001; Silva et al., 2003).



Tabela 3. Média ( $\bar{X}$ ) e desvio-padrão (S), em mm h<sup>-1</sup>, das séries anuais de intensidades máximas médias de precipitação com durações de 10 a 1440 minutos, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estação	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min		120 min		240 min		360 min		720 min		1440 min	
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
Tumiritinga	120,0	27,8	86,9	20,7	67,5	14,9	59,1	14,5	50,7	12,4	45,5	10,7	27,0	6,4	16,2	3,7	11,8	2,8	6,3	1,7	3,5	0,9
Pancas	127,0	24,2	93,7	17,1	71,8	16,0	62,2	15,0	56,1	14,0	48,9	13,9	30,6	9,8	17,7	5,5	12,3	3,8	6,5	2,0	3,6	1,0
Caldeirão	110,7	28,8	81,0	17,8	62,7	15,0	53,6	13,9	46,6	13,2	43,0	14,2	26,7	8,4	16,0	5,3	11,7	4,3	6,8	3,0	3,8	1,4
Barra do Cuieté - Jusante	116,8	18,2	85,1	23,1	69,6	17,3	57,4	13,2	49,9	12,5	44,9	13,5	26,5	8,2	16,0	5,0	11,3	3,7	5,9	1,9	3,2	1,0
Assaraí - Montante	129,6	40,4	97,5	21,8	80,3	15,9	66,6	14,7	56,6	11,2	48,0	9,5	28,1	6,4	16,3	4,6	11,4	3,3	6,0	1,8	3,5	0,8
Alto Rio Novo	114,8	35,0	85,1	31,3	65,3	24,1	55,3	20,2	48,5	16,5	42,7	14,0	24,6	6,7	13,7	3,6	10,0	3,3	5,7	2,0	3,0	1,0
Dom Cavati	125,8	25,4	89,3	18,3	71,8	10,9	65,3	12,3	57,5	13,2	50,2	12,5	28,6	7,2	17,8	4,0	12,3	2,8	6,6	1,5	3,4	0,7
Cenibra	136,4	47,7	91,9	33,0	73,6	24,3	63,4	18,6	57,3	16,0	49,8	15,8	32,0	11,8	18,9	8,0	13,9	6,0	7,7	2,9	4,2	1,5
Cachoeira dos Óculos	132,6	23,2	89,5	15,5	72,1	12,7	60,2	11,3	50,4	10,7	43,8	7,9	26,1	4,7	16,8	4,9	12,3	4,4	6,7	2,8	3,7	1,4
Naque Velho	128,6	42,3	99,1	26,8	75,5	24,2	65,8	20,3	57,5	14,7	51,1	12,3	33,7	8,1	21,7	6,1	15,4	4,7	8,3	2,6	4,4	1,3
Conceição do Mato Dentro	129,4	30,3	90,7	19,0	72,7	15,8	61,2	14,3	52,2	11,9	45,5	10,0	28,4	6,6	16,6	4,0	12,1	2,8	7,0	1,3	4,0	0,9
Ferros	109,6	22,0	80,8	17,8	65,0	12,5	54,9	11,4	46,4	9,9	40,5	9,6	25,5	6,7	15,3	4,2	10,7	2,8	6,1	1,3	3,5	0,7
Morro do Pilar	130,3	35,5	91,9	26,7	74,1	20,6	60,0	16,1	52,8	13,4	46,3	11,8	27,4	7,1	16,5	4,4	12,3	3,8	6,8	2,0	4,0	1,0
Raul Soares - Montante	116,5	37,5	89,8	24,4	73,6	21,4	62,9	18,1	55,6	18,5	51,2	16,2	31,5	9,2	18,6	5,1	13,2	3,5	7,4	2,2	4,2	1,1
Ponte Nova - Jusante	116,2	17,2	83,8	14,9	69,6	12,6	61,1	12,4	54,0	12,3	49,4	12,8	31,1	7,8	18,8	6,0	13,4	4,7	7,1	2,2	3,9	1,2
Acaiaca - Jusante	126,0	33,2	82,9	20,4	68,4	14,3	55,2	13,1	47,7	11,0	43,1	11,6	24,0	6,3	14,9	6,4	10,9	5,5	6,0	2,8	3,3	1,5
Piranga	127,0	19,6	81,5	13,5	66,7	9,8	57,4	11,6	49,9	9,6	44,2	8,6	25,0	5,9	14,2	3,1	10,6	2,5	6,2	1,9	3,7	1,3
Braz Pires	120,7	4,8	92,7	15,4	71,0	13,0	60,2	10,4	51,9	8,5	44,8	8,1	26,7	5,2	14,8	2,3	10,4	1,5	5,7	0,8	3,4	0,7
Desterro de Melo	131,3	27,1	96,9	24,8	78,6	17,9	67,5	15,6	60,0	15,0	53,3	13,0	29,8	6,9	16,5	3,7	12,0	2,2	6,6	1,4	4,0	0,7
<b>Média</b>	<b>123,6</b>	<b>28,4</b>	<b>89,0</b>	<b>21,2</b>	<b>71,1</b>	<b>16,5</b>	<b>60,5</b>	<b>14,6</b>	<b>52,7</b>	<b>12,9</b>	<b>46,6</b>	<b>11,9</b>	<b>28,1</b>	<b>7,3</b>	<b>16,7</b>	<b>4,7</b>	<b>12,0</b>	<b>3,6</b>	<b>6,6</b>	<b>2,0</b>	<b>3,7</b>	<b>1,1</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>7,8</b>	<b>10,2</b>	<b>5,7</b>	<b>5,5</b>	<b>4,6</b>	<b>4,5</b>	<b>4,2</b>	<b>3,0</b>	<b>4,1</b>	<b>2,5</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>
<b>CV (%)</b>	<b>6,3</b>	<b>35,9</b>	<b>6,4</b>	<b>26,1</b>	<b>6,4</b>	<b>27,4</b>	<b>6,9</b>	<b>20,2</b>	<b>7,8</b>	<b>19,6</b>	<b>7,6</b>	<b>20,9</b>	<b>9,7</b>	<b>22,8</b>	<b>11,4</b>	<b>28,1</b>	<b>11,0</b>	<b>31,6</b>	<b>10,4</b>	<b>31,1</b>	<b>10,2</b>	<b>24,9</b>
<b>Amplitude</b>	<b>26,8</b>	<b>42,9</b>	<b>18,3</b>	<b>19,6</b>	<b>17,6</b>	<b>14,5</b>	<b>13,9</b>	<b>9,8</b>	<b>13,6</b>	<b>10,0</b>	<b>12,7</b>	<b>8,3</b>	<b>9,7</b>	<b>7,1</b>	<b>7,9</b>	<b>5,7</b>	<b>5,4</b>	<b>4,5</b>	<b>2,6</b>	<b>2,2</b>	<b>1,5</b>	<b>0,8</b>

De posse dos valores de  $i_m$ , associados aos diferentes períodos de retorno, obtidos por meio dos modelos de distribuição probabilística Lognormal a dois e três parâmetros, foram determinadas as equações de intensidade-duração-frequência da precipitação para cada uma das 19 estações pluviográficas da bacia do rio Doce, apresentadas na Tabela 4. Nota-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi alto para todas as equações e o erro padrão da estimativa baixo, com valor médio de 5%, indicando bons ajustes dos parâmetros das equações IDF geradas.

Tabela 4. Equações intensidade máxima média de precipitação pluvial ( $i_m$ ), em mm h<sup>-1</sup>, em função do período de retorno ( $T_R$ ), em anos, e da duração da precipitação (t), em minutos, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estação	Equação	R <sup>2</sup>	EPE (%)	Período de observações
Tumiritinga	$i_m = \frac{1127,103T_R^{0,120}}{(t+8,839)^{0,771}}$	0,995	3,8	1984 - 2007
Pancas	$i_m = \frac{1119,512T_R^{0,118}}{(t+11,863)^{0,732}}$	0,992	4,7	1990 - 2007
Caldeirão	$i_m = \frac{549,672T_R^{0,134}}{(t+3,701)^{0,627}}$	0,992	4,3	1977 - 2008
Barra do Cuieté	$i_m = \frac{3086,021T_R^{0,124}}{(t+26,557)^{0,944}}$	0,988	5,4	1975 - 2008
Assaraí	$i_m = \frac{1417,391T_R^{0,133}}{(t+7,819)^{0,816}}$	0,979	8,9	1991 - 2008
Alto Rio Novo	$i_m = \frac{4192,32T_R^{0,151}}{(t+23,468)^{1,038}}$	0,990	5,7	1991 - 2008
Dom Cavati	$i_m = \frac{1232,209T_R^{0,111}}{(t+11,410)^{0,764}}$	0,990	5,1	1977 - 2008
Cenibra	$i_m = \frac{658,464T_R^{0,180}}{(t+2,084)^{0,654}}$	0,991	6,5	1990 - 2008
Cachoeira dos Óculos	$i_m = \frac{832,663T_R^{0,103}}{(t+4,486)^{0,702}}$	0,994	4,1	1996 - 2008
Naque Velho	$i_m = \frac{839,453T_R^{0,159}}{(t+5,297)^{0,692}}$	0,992	5,6	1998 - 2008
Conceição do Mato Dentro	$i_m = \frac{1108,068T_R^{0,120}}{(t+6,995)^{0,767}}$	0,996	3,6	1986 - 2008
Ferros	$i_m = \frac{1276,854T_R^{0,118}}{(t+12,398)^{0,806}}$	0,996	3,0	1991 - 2008
Morro do Pilar	$i_m = \frac{1628,385T_R^{0,148}}{(t+10,514)^{0,853}}$	0,994	4,6	1974 - 2008
Raul Soares	$i_m = \frac{1222,163T_R^{0,157}}{(t+12,008)^{0,769}}$	0,991	5,3	1990 - 2008

Ponte Nova	$i_m = \frac{950,607T_R^{0,104}}{(t+14,606)^{0,688}}$	0,991	4,3	1978 - 2008
Acaiaca	$i_m = \frac{663,569T_R^{0,129}}{(t+2,523)^{0,669}}$	0,992	4,7	1998 - 2007
Piranga	$i_m = \frac{886,948T_R^{0,093}}{(t+5,655)^{0,724}}$	0,991	4,4	1991 - 2008
Braz Pires	$i_m = \frac{16936,850T_R^{0,075}}{(t+47,346)^{1,249}}$	0,983	5,9	1998 - 2008
Desterro de Melo	$i_m = \frac{5178,400T_R^{0,132}}{(t+27,198)^{1,039}}$	0,994	4,5	2000 - 2008

Pelos resultados obtidos na Tabela 4, observa-se que os valores dos parâmetros de ajuste (K, a, b e c) das equações apresentaram uma alta variabilidade entre as estações pluviográficas. O valor do coeficiente “K” variou de 549,672 a 16.936,850 para as estações de Caldeirão e Braz Pires, respectivamente; o coeficiente “a” variou de 0,075 a 0,180 para as estações de Braz Pires e Cenibra, respectivamente; o coeficiente “b”, de 2,084 a 47,346, referentes às estações de Cenibra e Braz Pires, respectivamente; e o coeficiente “c”, de 0,627 a 1,249, para as estações de Caldeirão e Braz Pires, respectivamente. Vale ressaltar que outras combinações dos parâmetros de ajuste das equações IDF podem ser obtidas sem que haja imprecisão nos resultados de intensidade máxima média da precipitação pluvial e, exatamente por essa razão, não se indica a interpolação dos parâmetros da equação IDF e sim dos valores de  $i_m$  associados a cada duração e período de retorno.

### 4.3. Desagregação de chuvas diárias

Por meio dos dados de alturas pluviométricas máximas anuais associadas às diferentes durações (ANEXO I) foram gerados coeficientes de desagregação para cada ano das séries históricas das estações pluviográficas. A partir destes, foram determinados os coeficientes médios de cada estação pluviográfica. Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios das relações entre as chuvas de diferentes durações, para cada estação pluviográfica, bem como os valores dos coeficientes de desagregação médios estimados para toda a bacia hidrográfica.

Pelos resultados apresentados na Tabela 5 nota-se que, de modo geral, os valores de desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude dos valores dos coeficientes foram baixos, demonstrando que os coeficientes de desagregação de chuvas não variaram expressivamente entre as estações pluviográficas.

Tabela 5. Coeficientes de desagregação para as 19 estações pluviográficas e coeficientes de desagregação médios que representam toda a bacia do rio Doce

Estações	24h/ 1d	12h/ 24h	6h/ 24h	4h/ 24h	2h/ 24h	1h/ 24h	50min/ 1h	40min/ 1h	30min/ 1h	20min/ 30min	10min/ 30min
Tumiritinga	1,039	0,915	0,866	0,798	0,670	0,570	0,930	0,866	0,753	0,860	0,609
Pancas	1,104	0,896	0,852	0,818	0,712	0,577	0,964	0,860	0,751	0,881	0,602
Caldeirão	1,108	0,872	0,770	0,714	0,612	0,494	0,919	0,854	0,760	0,872	0,596
Barra do Cuieté	1,103	0,909	0,871	0,826	0,701	0,608	0,939	0,871	0,797	0,816	0,578
Assarai	1,104	0,853	0,821	0,780	0,680	0,593	0,983	0,924	0,842	0,812	0,534
Alto Rio Novo	1,037	0,965	0,851	0,797	0,718	0,622	0,943	0,859	0,763	0,880	0,620
Dom Cavati	1,099	0,851	0,791	0,763	0,631	0,553	0,961	0,892	0,745	0,845	0,594
Cenibra	1,053	0,915	0,827	0,754	0,646	0,513	0,969	0,862	0,757	0,838	0,628
Cachoeira dos Óculos	1,065	0,914	0,845	0,785	0,632	0,533	0,954	0,917	0,825	0,830	0,621
Naque Velho	1,035	0,926	0,866	0,818	0,649	0,501	0,938	0,851	0,732	0,893	0,572
Conceição do Mato Dentro	1,045	0,897	0,777	0,719	0,621	0,497	0,955	0,898	0,807	0,837	0,596
Ferros	1,073	0,872	0,769	0,733	0,619	0,496	0,959	0,911	0,817	0,831	0,567
Morro do Pilar	1,084	0,844	0,772	0,693	0,584	0,500	0,955	0,872	0,805	0,827	0,600
Raul Soares	1,077	0,883	0,804	0,760	0,654	0,529	0,904	0,831	0,741	0,832	0,530
Ponte Nova	1,069	0,912	0,856	0,808	0,681	0,548	0,922	0,841	0,721	0,809	0,569
Acaiaca	1,059	0,907	0,828	0,764	0,645	0,589	0,936	0,871	0,822	0,803	0,615
Piranga	1,125	0,856	0,756	0,684	0,599	0,530	0,943	0,866	0,766	0,815	0,643
Braz Pires	1,102	0,853	0,781	0,737	0,665	0,560	0,969	0,901	0,799	0,880	0,583
Desterro de Melo	1,147	0,831	0,755	0,698	0,635	0,570	0,937	0,849	0,744	0,821	0,571
<b>Média da bacia</b>	<b>1,080</b>	<b>0,888</b>	<b>0,814</b>	<b>0,760</b>	<b>0,650</b>	<b>0,547</b>	<b>0,946</b>	<b>0,873</b>	<b>0,776</b>	<b>0,841</b>	<b>0,591</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,032</b>	<b>0,035</b>	<b>0,041</b>	<b>0,045</b>	<b>0,037</b>	<b>0,041</b>	<b>0,020</b>	<b>0,026</b>	<b>0,036</b>	<b>0,028</b>	<b>0,030</b>
<b>CV (%)</b>	<b>2,948</b>	<b>3,892</b>	<b>5,040</b>	<b>5,932</b>	<b>5,687</b>	<b>7,427</b>	<b>2,097</b>	<b>3,010</b>	<b>4,665</b>	<b>3,342</b>	<b>5,053</b>
<b>Amplitude</b>	<b>0,112</b>	<b>0,134</b>	<b>0,116</b>	<b>0,142</b>	<b>0,134</b>	<b>0,127</b>	<b>0,080</b>	<b>0,093</b>	<b>0,121</b>	<b>0,090</b>	<b>0,113</b>

O maior CV (7,43%) se deu na relação de chuva de 1h/24h, enquanto o menor CV (2,10%) ocorreu na relação de chuva de 50min/1h. A amplitude dos coeficientes de desagregação variou de 0,08, para a relação entre a chuva de 50min/1h, a 0,14, para a relação de chuva de 4h/1h.

Na Tabela 6 estão apresentados os coeficientes de desagregação médios para as cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce.

Tabela 6. Coeficientes de desagregação médios para as cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce

Região	Estações	24h/ 1d	12h/ 24h	6h/ 24h	4h/ 24h	2h/ 24h	1h/ 24h	50min/ /1h	40min/ 1h	30min/ /1h	20mi/ 30min	10mi/ 30min
1	Acaiaca	1,108	0,862	0,780	0,721	0,636	0,562	0,946	0,872	0,783	0,830	0,603
	Piranga											
	Braz Pires											
	Desterro de Melo											
2	Pancas	1,105	0,874	0,814	0,771	0,668	0,555	0,956	0,879	0,784	0,855	0,577
	Caldeirão											
	Assaraí											
3	Dom Cavati	1,066	0,900	0,832	0,781	0,649	0,529	0,941	0,865	0,753	0,841	0,586
	Cenibra											
	Cachoeira dos Óculos											
	Naque Velho											
	Raul Soares											
Ponte Nova												
4	Conceição do Mato Dentro	1,067	0,871	0,773	0,715	0,608	0,497	0,956	0,894	0,810	0,832	0,588
	Ferros											
	Morro do Pilar											
5	Tumiritinga	1,060	0,930	0,863	0,807	0,696	0,600	0,937	0,865	0,771	0,852	0,602
	Barra do Cuieté											
	Alto Rio Novo											
	<b>Média</b>	<b>1,081</b>	<b>0,887</b>	<b>0,812</b>	<b>0,759</b>	<b>0,651</b>	<b>0,549</b>	<b>0,947</b>	<b>0,875</b>	<b>0,780</b>	<b>0,842</b>	<b>0,591</b>
	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,024</b>	<b>0,028</b>	<b>0,037</b>	<b>0,040</b>	<b>0,033</b>	<b>0,038</b>	<b>0,009</b>	<b>0,012</b>	<b>0,021</b>	<b>0,012</b>	<b>0,011</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>2,176</b>	<b>3,120</b>	<b>4,575</b>	<b>5,255</b>	<b>5,097</b>	<b>6,980</b>	<b>0,909</b>	<b>1,349</b>	<b>2,639</b>	<b>1,367</b>	<b>1,868</b>
	<b>Amplitude</b>	<b>0,049</b>	<b>0,068</b>	<b>0,090</b>	<b>0,092</b>	<b>0,088</b>	<b>0,103</b>	<b>0,019</b>	<b>0,028</b>	<b>0,056</b>	<b>0,025</b>	<b>0,025</b>

Os coeficientes de desagregação médios que representam toda a bacia (Tabela 5) e que representam as cinco regiões homogêneas (Tabela 6) foram submetidos ao teste t de Student e os resultados de p-valor, obtidos pela comparação destes coeficientes com os dados de cada estação pluviográfica, estão apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente. Os resultados em negrito referem-se aos valores de p-valor menor que o nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ).

Tabela 7. Valores de p-valor obtidos pelo teste t de Student para comparação entre os coeficientes de desagregação de chuvas médios da bacia e de cada uma das 19 estações pluviográficas

Estações	p-valor (teste t de Student)											
	24h/ 1d	12h/ 24h	6h/ 24h	4h/ 24h	2h/ 24h	1h/ 24h	50min/ 1h	40min/ 1h	30min/ 1h	20min/ 30min	10min/ 30min	
Tumiritinga	<b>0,00</b>	0,21	0,11	0,27	0,60	0,53	0,35	0,70	0,40	0,44	0,62	
Pancas	0,51	0,77	0,18	0,09	0,09	0,37	0,15	0,56	0,37	0,08	0,64	
Caldeirão	0,48	0,60	0,20	0,21	0,41	0,18	0,12	0,48	0,64	0,23	0,87	
Barra do Cuieté	0,48	0,37	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	0,22	0,19	0,64	0,92	0,49	0,33	0,63	
Assaraí	0,70	0,34	0,84	0,57	0,30	0,23	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	0,27	<b>0,03</b>	
Alto Rio Novo	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	0,30	0,37	0,13	0,11	0,80	0,59	0,62	0,16	0,43	

Dom Cavati	0,24	0,21	0,43	0,93	0,60	0,84	0,29	0,43	0,21	0,93	0,92
Cenibra	0,19	0,18	0,61	0,82	0,90	0,31	0,12	0,62	0,59	0,94	0,20
Cachoeira dos Óculos	0,37	0,14	0,16	0,34	0,55	0,65	0,55	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	0,57	0,25
Naque Velho	<b>0,00</b>	0,06	<b>0,04</b>	0,05	0,97	0,24	0,67	0,38	0,21	<b>0,01</b>	0,50
Conceição do Mato Dentro	0,08	0,66	0,35	0,33	0,45	0,10	0,45	0,21	0,20	0,85	0,82
Ferros	0,76	0,46	0,19	0,45	0,38	0,08	0,33	0,09	0,21	0,68	0,33
Morro do Pilar	0,89	0,15	0,23	<b>0,04</b>	0,07	0,19	0,55	0,96	0,17	0,47	0,76
Raul Soares	0,95	0,89	0,82	0,98	0,93	0,65	<b>0,04</b>	0,08	0,37	0,83	<b>0,03</b>
Ponte Nova	0,74	0,34	0,19	0,12	0,30	0,96	0,21	0,21	<b>0,02</b>	0,21	0,43
Acaiaca	0,31	0,45	0,59	0,91	0,87	0,32	0,58	0,92	0,20	0,07	0,35
Piranga	0,39	0,34	0,19	0,12	0,23	0,65	0,87	0,71	0,68	0,19	0,07
Braz Pires	0,49	0,25	0,36	0,43	0,60	0,61	0,11	0,23	0,40	0,22	0,74
Desterro de Melo	0,25	0,07	0,07	0,13	0,72	0,57	0,38	0,12	0,19	0,35	0,51

De acordo com a Tabela 7, verifica-se que as relações de chuva de 2h/24h e 1h/24h, para todas as estações, foram consideradas iguais aos valores médios dos coeficientes de desagregação para a bacia. As demais relações apresentaram diferenças entre os coeficientes médios, embora essa diferença tenha sido baixa: 15 % nas relações de chuva de 24h/1d e 30min/1h; 10 % nas relações de chuvas de 6h/24h, 4h/24h, 50min/1h, 40min/1h, 10min/30min; e 5 % nas relações de chuva de 12h/24h e 20min/1h.

Tabela 8. Valores de p-valor obtidos pelo teste t de Student para comparação entre os coeficientes de desagregação de chuvas médios das cinco regiões homogêneas e de cada uma das estações pluviográficas da bacia do rio Doce

Região	Estações	p-valor (teste t de Student)										
		24h/ 1d	12h/2 4h	6h/2 4h	4h/2 4h	2h/2 4h	1h/2 4h	50min/ 1h	40min/ 1h	30min/ 1h	20min/ 30min	10min/ 30min
1	Acaiaca	0,25	0,39	0,39	0,44	0,91	0,78	0,80	0,99	0,61	0,53	0,83
	Piranga	0,89	0,94	0,80	0,73	0,69	0,68	0,94	0,89	0,74	0,73	0,51
	Braz Pires	0,93	0,89	0,99	0,77	0,63	0,97	0,44	0,55	0,77	0,47	0,70
	Desterro de Melo	0,77	0,64	0,70	0,79	0,99	0,93	0,61	0,43	0,44	0,84	0,64
2	Pancas	0,99	0,73	0,59	0,56	0,63	0,80	0,78	0,74	0,63	0,64	0,68
	Caldeirão	0,98	0,98	0,60	0,54	0,63	0,53	0,40	0,71	0,78	0,79	0,82
	Assarai	0,99	0,82	0,94	0,91	0,86	0,69	0,13	0,35	0,34	0,52	0,50
3	Dom Cavati	0,34	0,34	0,41	0,69	0,78	0,68	0,42	0,53	0,84	0,96	0,86
	Cenibra	0,70	0,65	0,93	0,58	0,96	0,77	0,27	0,93	0,96	0,97	0,40
	Cachoeira dos Óculos	0,95	0,59	0,69	0,92	0,74	0,95	0,56	0,09	<b>0,02</b>	0,74	0,44
	Naque Velho	<b>0,04</b>	0,40	0,40	0,43	1,00	0,67	0,92	0,75	0,73	0,14	0,78
	Raul Soares	0,89	0,78	0,72	0,79	0,95	0,99	0,31	0,41	0,86	0,90	0,25
	Ponte Nova	0,97	0,78	0,66	0,60	0,54	0,75	0,57	0,59	0,40	0,47	0,74
4	Conceição do Mato Dentro	0,64	0,57	0,96	0,97	0,89	0,99	0,98	0,93	0,96	0,93	0,88
	Ferros	0,93	0,99	0,97	0,84	0,90	0,98	0,94	0,75	0,93	0,99	0,73
	Morro do Pilar	0,76	0,72	0,99	0,78	0,79	0,98	0,96	0,73	0,93	0,93	0,87
5	Tumiritinga	0,48	0,77	0,97	0,92	0,78	0,76	0,87	0,99	0,79	0,90	0,94
	Barra do Cuieté	0,59	0,72	0,89	0,80	0,96	0,95	0,97	0,92	0,73	0,58	0,72
	Alto Rio Novo	0,54	0,28	0,90	0,92	0,85	0,86	0,87	0,92	0,90	0,69	0,85

Pelos resultados obtidos na Tabela 8, observa-se que nas regiões 1, 2, 4 e 5 todos os coeficientes de desagregação de chuvas se mostraram iguais aos valores dos coeficientes de cada estação pluviográfica. Apenas a região 3 apresentou, para uma estação, as relações de chuva de 24h/1dia e 30min/1h diferente da média. Sendo assim, os resultados dos coeficientes de desagregação médios para as cinco regiões da bacia do rio Doce mostraram ser expressivamente melhores do que a adoção de um único coeficiente de desagregação médio para toda a bacia.

Esse resultado é de grande relevância para os estudos de chuvas intensas, sobretudo na bacia do rio Doce, uma vez que a adoção de coeficientes de desagregação médios que representem uma região homogênea possibilita, de forma simples e abrangente, a estimativa das intensidades máximas médias de precipitação, visto que dados pluviométricos estão disponíveis ao longo de toda a bacia.

Para a determinação dos coeficientes de desagregação associados aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos (Tabela 9) foram utilizadas as séries de altura pluviométrica máxima associadas às diferentes durações e períodos de retorno para cada uma das 19 estações pluviográficas da bacia do rio Doce. Na Figura 2 estão apresentados os gráficos que representam o comportamento entre coeficientes de desagregação de chuvas e os períodos de retorno para as cinco regiões homogêneas.

Tabela 9. Coeficientes de desagregação de chuvas de 24 h associados aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos para as cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce

Região	TR	24h/ 1d	12h/ 24h	6h/ 24h	4h/ 24h	2h/ 24h	1h/ 24h	50min/ 1h	40min/ 1h	30min/ 1h	20min/ 30min	10min/ 30min
1	2	1,093	0,854	0,771	0,717	0,628	0,552	0,941	0,867	0,772	0,825	0,599
	5	1,083	0,841	0,751	0,691	0,595	0,519	0,933	0,860	0,754	0,837	0,585
	10	1,081	0,835	0,740	0,675	0,578	0,503	0,931	0,856	0,746	0,843	0,577
	20	1,081	0,831	0,731	0,661	0,564	0,491	0,929	0,853	0,741	0,848	0,569
	50	1,089	0,826	0,722	0,644	0,549	0,477	0,929	0,850	0,735	0,854	0,560
	100	1,095	0,822	0,716	0,633	0,539	0,469	0,929	0,848	0,732	0,858	0,554
2	2	1,087	0,865	0,804	0,751	0,653	0,535	0,948	0,869	0,780	0,842	0,560
	5	1,053	0,911	0,829	0,768	0,655	0,530	0,929	0,851	0,748	0,837	0,578
	10	1,039	0,934	0,842	0,780	0,656	0,527	0,923	0,845	0,730	0,837	0,592
	20	1,028	0,953	0,853	0,791	0,657	0,525	0,919	0,841	0,714	0,839	0,606
	50	1,019	0,974	0,865	0,806	0,659	0,523	0,915	0,838	0,697	0,842	0,623
	100	1,018	0,989	0,874	0,816	0,661	0,522	0,914	0,837	0,686	0,844	0,636
3	2	1,045	0,913	0,839	0,793	0,653	0,531	0,935	0,859	0,744	0,826	0,571
	5	1,041	0,928	0,853	0,789	0,631	0,512	0,934	0,850	0,733	0,828	0,578
	10	1,039	0,936	0,861	0,786	0,619	0,500	0,935	0,846	0,728	0,831	0,584
	20	1,037	0,943	0,868	0,783	0,608	0,490	0,937	0,843	0,724	0,835	0,591
	50	1,036	0,951	0,876	0,779	0,596	0,479	0,940	0,840	0,719	0,839	0,599
	100	1,036	0,956	0,881	0,776	0,588	0,471	0,942	0,838	0,716	0,843	0,606
4	2	1,063	0,865	0,767	0,719	0,592	0,480	0,970	0,888	0,802	0,831	0,580
	5	1,070	0,863	0,783	0,725	0,599	0,481	0,959	0,887	0,797	0,836	0,583
	10	1,073	0,862	0,787	0,720	0,602	0,482	0,946	0,887	0,794	0,837	0,584
	20	1,076	0,861	0,790	0,713	0,604	0,483	0,934	0,887	0,793	0,838	0,586
	50	1,079	0,861	0,791	0,701	0,605	0,483	0,917	0,887	0,790	0,838	0,587
	100	1,081	0,861	0,791	0,692	0,606	0,484	0,905	0,888	0,789	0,837	0,588
5	2	1,039	0,946	0,855	0,802	0,678	0,586	0,918	0,857	0,759	0,846	0,581
	5	1,040	0,943	0,851	0,777	0,661	0,573	0,920	0,855	0,757	0,854	0,560
	10	1,047	0,934	0,849	0,764	0,653	0,563	0,929	0,857	0,756	0,858	0,553
	20	1,057	0,923	0,848	0,753	0,647	0,554	0,940	0,860	0,757	0,861	0,548
	50	1,072	0,908	0,846	0,740	0,641	0,543	0,956	0,864	0,757	0,864	0,545
	100	1,083	0,898	0,844	0,731	0,637	0,536	0,969	0,868	0,758	0,866	0,543
<b>Média</b>		<b>1,059</b>	<b>0,900</b>	<b>0,816</b>	<b>0,743</b>	<b>0,621</b>	<b>0,513</b>	<b>0,934</b>	<b>0,859</b>	<b>0,750</b>	<b>0,842</b>	<b>0,580</b>
<b>Desvio padrão</b>		<b>0,024</b>	<b>0,049</b>	<b>0,050</b>	<b>0,050</b>	<b>0,036</b>	<b>0,033</b>	<b>0,016</b>	<b>0,017</b>	<b>0,030</b>	<b>0,011</b>	<b>0,022</b>
<b>CV (%)</b>		<b>2,219</b>	<b>5,432</b>	<b>6,180</b>	<b>6,748</b>	<b>5,842</b>	<b>6,359</b>	<b>1,666</b>	<b>1,970</b>	<b>4,014</b>	<b>1,297</b>	<b>3,781</b>
<b>Amplitude</b>		<b>0,078</b>	<b>0,166</b>	<b>0,166</b>	<b>0,183</b>	<b>0,138</b>	<b>0,118</b>	<b>0,065</b>	<b>0,051</b>	<b>0,116</b>	<b>0,041</b>	<b>0,093</b>



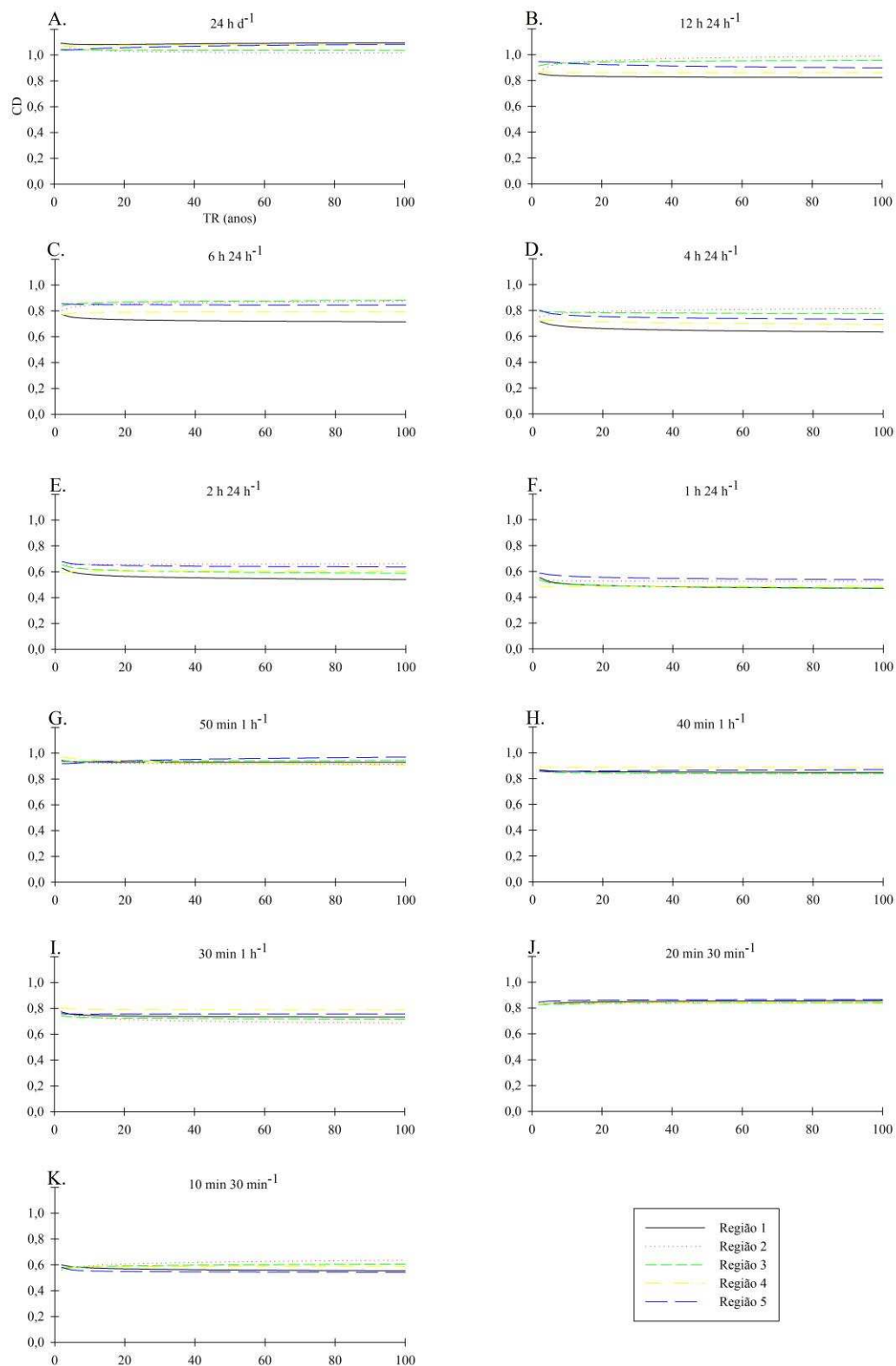


Figura 2. Relações de chuvas em função do período de retorno para cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce.

A análise visual da Figuras 2 indica que as curvas geradas entre os coeficientes de desagregação de chuvas e os períodos de retorno não apresentam grandes oscilações.

Maiores distorções podem ser percebidas no início das curvas, para o período de retorno de 2 anos. Os resultados da avaliação estatística entres os coeficientes e os períodos de retorno estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Resultados de p-valor obtidos pelo teste t de Student, ao 5% de nível de significância, cuja hipótese  $H_0$  é que o coeficiente angular entre os coeficientes de desagregação de chuvas e os períodos de retorno é igual a zero

Região	p-valor (teste t de Student)										
	24h/1d	12h/ 24h	6h/ 24h	4h/ 24h	2h/ 24h	1h/ 24h	50min/ 1h	40min/ 1h	30min/ 1h	20min/ 30min	10min/ 30min
1	0,1681	0,0631	0,0524	<b>0,0361</b>	0,0539	0,0624	0,2343	0,0603	0,0888	<b>0,0450</b>	<b>0,0341</b>
2	0,1232	0,0522	<b>0,0446</b>	<b>0,0218,</b>	<b>0,0064</b>	0,0960	0,1429	0,1466	<b>0,0460</b>	0,1040	<b>0,0200</b>
3	0,0911	<b>0,0469</b>	<b>0,0427</b>	<b>0,0175</b>	<b>0,0439</b>	<b>0,0398</b>	<b>0,0021</b>	0,0857	0,0603	<b>0,0059</b>	<b>0,0133</b>
4	<b>0,0467</b>	0,1531	0,2288	<b>0,0027</b>	0,1315	<b>0,0382</b>	<b>0,0121</b>	0,5325	0,0611	0,4321	<b>0,0473</b>
5	<b>0,0031</b>	<b>0,0055</b>	<b>0,0494</b>	<b>0,0446</b>	0,0645	<b>0,0269</b>	<b>0,0035</b>	<b>0,0014</b>	0,6186	0,0617	0,1419

Pelos resultados da avaliação estatística entres os coeficientes e os períodos de retorno (Tabela 10), verifica-se que a hipótese nula ( $\beta_1 = 0$ ) não foi aceita em 50% das relações de chuvas das cinco regiões homogêneas, o que indica que metade dos coeficientes submetidos ao teste variaram em função do período de retorno. Esse resultado foi inesperado e muito relevante para o estudo de chuvas intensas, uma vez que vai contra ao exposto pela CETESB (1986), que é um estudo amplamente empregado em território brasileiro. Dessa forma, comprova-se a importância da utilização de coeficientes de desagregação de chuvas específicos para cada período de retorno.

De posse dos coeficientes de desagregação de chuvas obtidos para as cinco regiões homogêneas e para os diferentes períodos de retorno (Tabela 9), as precipitações máximas diárias anuais foram desagregadas em chuvas de menor duração e as intensidades máximas médias de precipitação pluvial foram estimadas para as 19 estações pluviográficas.

#### 4.4. Comparação entre os métodos de determinação de chuvas intensas

Os resultados de p-valor, obtidos por meio do teste t de Student, para a comparação dos métodos de interpolação e desagregação de chuvas estão apresentados nas Tabelas 11 e 12, respectivamente. Os valores de p-valor que foram menores que o nível de significância ( $\alpha = 5\%$ ) estão em negrito, indicando que a hipótese nula não foi aceita.

Tabela 11. Valores de p-valor obtidos pelo teste t de Student para comparação entre as intensidades máximas médias de precipitação obtidas por interpolação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estações	TR (anos)						p-valor - estação
	2	5	10	20	50	100	
Tumiritinga	0,143	<b>0,015</b>	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Pancas	<b>0,006</b>	0,068	0,352	0,930	0,168	<b>0,030</b>	0,539
Caldeirão	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Barra do Cuieté	<b>0,030</b>	<b>0,019</b>	<b>0,011</b>	<b>0,009</b>	<b>0,006</b>	<b>0,017</b>	<b>0,000</b>
Assaraí	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Alto Rio Novo	<b>0,021</b>	0,261	0,989	0,269	<b>0,021</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>
Dom Cavati	0,467	<b>0,003</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Cenibra	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Cachoeira dos Óculos	0,209	0,101	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Naque Velho	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Conceição do Mato Dentro	<b>0,002</b>	0,617	0,863	0,146	<b>0,003</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Ferros	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Morro do Pilar	0,151	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Raul Soares	0,247	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Ponte Nova	0,302	0,130	0,064	<b>0,030</b>	<b>0,012</b>	<b>0,005</b>	<b>0,000</b>
Acaiaca	0,755	0,801	0,066	0,289	0,133	0,071	<b>0,002</b>
Piranga	0,192	<b>0,034</b>	<b>0,008</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Braz Pires	0,385	0,063	<b>0,009</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Desterro de Melo	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

Tabela 12. Valores de p-valor obtidos pelo teste t de Student para comparação entre as intensidades máximas médias de precipitação obtidas pela desagregação de chuva diária e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estações	TR (anos)						p-valor - estação
	2	5	10	20	50	100	
Tumiritinga	0,708	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,009</b>	0,204	<b>0,000</b>
Pancas	<b>0,000</b>	<b>0,003</b>	<b>0,047</b>	0,102	0,088	0,059	<b>0,000</b>
Caldeirão	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Barra do Cuieté	<b>0,002</b>	0,179	<b>0,009</b>	<b>0,004</b>	<b>0,010</b>	0,107	<b>0,001</b>
Assaraí	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Alto Rio Novo	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,004</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Dom Cavati	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Cenibra	<b>0,000</b>	0,908	0,541	0,778	<b>0,010</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Cachoeira dos Óculos	<b>0,000</b>	0,348	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Naque Velho	0,458	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	0,191	<b>0,000</b>	0,457
Conceição do Mato Dentro	<b>0,000</b>	<b>0,004</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	0,922	<b>0,002</b>
Ferros	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Morro do Pilar	<b>0,000</b>	0,606	0,079	0,263	<b>0,011</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Raul Soares	0,101	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	0,940	<b>0,005</b>	<b>0,046</b>
Ponte Nova	0,142	<b>0,024</b>	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>
Acaiaca	<b>0,000</b>	0,373	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Piranga	<b>0,009</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Braz Pires	0,149	0,076	<b>0,011</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Desterro de Melo	0,203	0,228	<b>0,015</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

Os resultados de p-valor indicaram que, aproximadamente, 75% e 78% dos resultados de p-valor para os diferentes  $T_R$  foram menores que o nível de significância de 5%, para as metodologias de interpolação e desagregação de chuvas, respectivamente. Das 19 estações avaliadas, considerando todos os dados de duração e período de retorno, apenas a estação de Pancas e Naque Velho apresentaram a hipótese nula aceita, para a interpolação e desagregação, respectivamente. Dessa forma, pode-se afirmar que, pelo teste t de Student, os métodos de interpolação e da desagregação de chuvas diárias não apresentam valores de  $i_m$  iguais, na proporção de 1:1, aos obtidos pela equação IDF.

Os resultados obtidos pelos índices de concordância de Willmott variaram de 0,963 a 1,0 e de 0,851 a 1,0, para os diferentes  $T_R$ , para os procedimentos de interpolação (Tabela 13) e desagregação de chuvas (Tabela 14), respectivamente. Os índices de Willmott obtidos para cada estação variaram de 0,977 (Ferros) a 0,999 (Conceição do Mato Dentro) para a interpolação e de 0,925 (Ferros) a 0,999 (Conceição do Mato Dentro e Morro do Pilar) para a desagregação de chuvas, indicando um baixo desvio entre as intensidades de precipitação obtidas pelo método alternativo e o convencional. Sendo assim, pelo índice de concordância de Willmott, ambos os métodos apresentaram bom desempenho para estimar intensidades médias de precipitação pluvial em comparação ao método de obtenção de equações IDF.

Tabela 13. Índice de concordância de Willmott obtido a partir dos dados de intensidade máxima média de precipitação pela interpolação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estações	TR (anos)						d - estação
	2	5	10	20	50	100	
Tumiritinga	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,998
Pancas	0,997	0,998	0,999	0,999	0,998	0,998	0,998
Caldeirão	0,990	0,990	0,991	0,990	0,991	0,991	0,991
Barra do Cuieté	0,994	0,993	0,995	0,992	0,992	0,990	0,993
Assaraí	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991
Alto Rio Novo	0,998	0,998	0,999	0,999	0,998	0,997	0,998
Dom Cavati	0,999	0,999	0,997	0,995	0,991	0,987	0,994
Cenibra	0,997	0,993	0,989	0,983	0,973	0,965	0,980
Cachoeira dos Óculos	0,999	0,999	0,998	0,993	0,992	0,988	0,994
Naque Velho	0,998	0,997	0,996	0,995	0,993	0,992	0,995
Conceição do Mato Dentro	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999
Ferros	0,987	0,983	0,981	0,978	0,973	0,969	0,977
Morro do Pilar	1,000	0,997	0,996	0,994	0,991	0,989	0,994
Raul Soares	0,998	0,999	0,997	0,994	0,990	0,986	0,993
Ponte Nova	0,992	0,991	0,989	0,988	0,985	0,982	0,987
Acaiaca	0,997	0,997	0,963	0,997	0,996	0,996	0,993
Piranga	0,997	0,997	0,996	0,994	0,992	0,990	0,994

Braz Pires	0,994	0,991	0,988	0,983	0,975	0,968	0,981
Desterro de Melo	0,994	0,991	0,989	0,987	0,984	0,981	0,987

Tabela 14. Índice de concordância de Willmott obtido a partir dos dados de intensidade máxima média de precipitação pelo método de desagregação de chuvas e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estações	TR (anos)						d - estação
	2	5	10	20	50	100	
Tumiritinga	1,000	0,996	0,995	0,995	0,997	0,998	0,997
Pancas	0,988	0,997	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996
Caldeirão	0,994	0,962	0,949	0,944	0,945	0,949	0,955
Barra do Cuieté	0,992	0,997	0,996	0,996	0,998	0,999	0,997
Assaraí	0,974	0,984	0,984	0,982	0,976	0,970	0,978
Alto Rio Novo	0,985	0,998	0,999	0,999	0,997	0,993	0,996
Dom Cavati	0,987	0,993	0,992	0,989	0,983	0,976	0,986
Cenibra	0,993	0,998	0,998	0,998	0,997	0,994	0,997
Cachoeira dos Óculos	0,975	0,999	0,992	0,983	0,970	0,963	0,978
Naque Velho	0,999	0,997	0,997	0,999	1,000	0,998	0,998
Conceição do Mato Dentro	0,997	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	0,999
Ferros	0,997	0,982	0,962	0,935	0,890	0,851	0,925
Morro do Pilar	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,999
Raul Soares	1,000	0,996	0,997	0,998	0,999	0,998	0,998
Ponte Nova	0,994	0,991	0,986	0,983	0,982	0,982	0,986
Acaiaca	0,984	0,998	0,994	0,988	0,980	0,976	0,986
Piranga	0,999	0,994	0,986	0,980	0,972	0,967	0,980
Braz Pires	0,992	0,993	0,992	0,990	0,985	0,980	0,988
Desterro de Melo	0,997	0,998	0,998	0,996	0,991	0,985	0,993

Os resultados do coeficiente de Nash e Sutcliffe para os métodos de interpolação e desagregação estão apresentados nas Tabelas 15 e 16, respectivamente. Para a interpolação, o menor valor de COE obtido para os diferentes períodos de retorno foi 0,852, referente a 100 anos na estação de Braz Pires, considerado adequado e bom, enquanto que para a desagregação foi 0,664, relativo a 100 anos na estação de Ferros, considerado aceitável. Em relação aos coeficientes obtidos para cada estação, o valor mínimo foi de 0,894 na estação Ferros de 0,773 na estação Caldeirão, considerados adequados, para a interpolação e desagregação, respectivamente. O valor de COE máximo foi de 0,997 na estação de Conceição do Mato Dentro, para ambos os procedimentos. Portanto, de forma geral, pode-se dizer que ambos os métodos de interpolação e desagregação de chuvas apresentaram bom desempenho em relação ao método de obtenção de equações IDF.

Tabela 15. Coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe obtidos por meio das intensidades máxima médias de precipitação obtidas por interpolação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estações	TR (anos)						COE - estação
	2	5	10	20	50	100	
Tumiritinga	0,997	0,996	0,994	0,993	0,987	0,983	0,991
Pancas	0,990	0,993	0,994	0,995	0,993	0,991	0,993
Caldeirão	0,953	0,956	0,957	0,956	0,959	0,960	0,960
Barra do Cuieté	0,974	0,971	0,978	0,966	0,962	0,957	0,968
Assaraí	0,968	0,967	0,967	0,967	0,968	0,968	0,969
Alto Rio Novo	0,991	0,994	0,995	0,995	0,992	0,989	0,992
Dom Cavati	0,998	0,994	0,987	0,978	0,960	0,942	0,972
Cenibra	0,989	0,975	0,960	0,943	0,916	0,894	0,935
Cachoeira dos Óculos	0,997	0,996	0,992	0,969	0,966	0,948	0,974
Naque Velho	0,992	0,988	0,984	0,980	0,976	0,973	0,981
Conceição do Mato Dentro	0,997	1,000	0,999	0,999	0,997	0,995	0,997
Ferros	0,939	0,924	0,910	0,896	0,874	0,855	0,894
Morro do Pilar	0,998	0,990	0,985	0,979	0,971	0,963	0,978
Raul Soares	0,992	0,994	0,988	0,979	0,965	0,952	0,974
Ponte Nova	0,963	0,956	0,949	0,940	0,925	0,911	0,938
Acaiaca	0,988	0,988	0,880	0,987	0,987	0,986	0,973
Piranga	0,990	0,986	0,982	0,977	0,967	0,958	0,975
Braz Pires	0,975	0,963	0,948	0,926	0,888	0,852	0,916
Desterro de Melo	0,977	0,969	0,962	0,955	0,946	0,939	0,955

Tabela 16. Coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe obtidos por meio das intensidades máxima médias de precipitação obtidas por desagregação de chuvas e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estações	TR (anos)						COE - estação
	2	5	10	20	50	100	
Tumiritinga	0,999	0,983	0,978	0,981	0,988	0,992	0,987
Pancas	0,957	0,988	0,991	0,990	0,987	0,983	0,985
Caldeirão	0,971	0,812	0,747	0,724	0,731	0,751	0,773
Barra do Cuieté	0,968	0,989	0,985	0,985	0,990	0,994	0,988
Assaraí	0,918	0,947	0,948	0,940	0,924	0,908	0,931
Alto Rio Novo	0,949	0,994	0,997	0,995	0,988	0,976	0,985
Dom Cavati	0,954	0,974	0,971	0,962	0,942	0,921	0,978
Cenibra	0,975	0,992	0,993	0,994	0,990	0,978	0,988
Cachoeira dos Óculos	0,921	0,995	0,967	0,924	0,867	0,832	0,902
Naque Velho	0,997	0,986	0,988	0,995	0,998	0,991	0,993
Conceição do Mato Dentro	0,990	0,998	0,995	0,995	0,998	0,999	0,997
Ferros	0,989	0,940	0,884	0,819	0,730	0,664	0,793
Morro do Pilar	0,979	0,999	0,999	0,999	0,998	0,994	0,996
Raul Soares	0,999	0,984	0,985	0,992	0,997	0,991	0,992
Ponte Nova	0,975	0,959	0,934	0,919	0,912	0,914	0,932
Acaiaca	0,946	0,994	0,974	0,948	0,913	0,895	0,936
Piranga	0,997	0,973	0,938	0,908	0,871	0,851	0,909
Braz Pires	0,967	0,974	0,972	0,964	0,950	0,933	0,958
Desterro de Melo	0,987	0,993	0,992	0,985	0,969	0,949	0,975

Pelos resultados obtidos do erro médio percentual, observa-se que, para os diferentes períodos de retorno, o EMP variou de -49,7 a 21,3% para a interpolação (Tabela 17) e de -29,6 a 41,9% para o método de desagregação de chuva (Tabela 18).

Tabela 17. Erro médio percentual (%) entre os dados de intensidade máxima média de precipitação obtidos pela interpolação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estações	TR (anos)						EPM - estação
	2	5	10	20	50	100	
Tumiritinga	-2,670	-3,954	-4,959	-5,118	-7,412	-8,523	-5,439
Pancas	12,901	11,340	10,121	8,867	7,156	5,820	9,368
Caldeirão	-2,840	-2,479	-2,304	0,138	-1,993	-1,899	-1,896
Barra do Cuieté	-7,563	-8,250	-8,523	-9,369	-10,164	-9,987	-8,976
Assaraí	-1,518	-1,417	-1,370	-1,349	-1,362	-1,403	-1,403
Alto Rio Novo	-28,281	-25,460	-23,391	-21,377	-18,798	-16,907	-22,369
Dom Cavati	1,400	-1,472	-4,713	-6,098	-9,353	-11,926	-5,360
Cenibra	6,147	10,004	12,792	15,473	18,863	21,318	14,099
Cachoeira dos Óculos	-0,143	-3,463	-6,087	-10,461	-12,580	-15,559	-8,049
Naque Velho	7,067	9,095	9,925	10,239	11,665	12,337	10,055
Conceição do Mato Dentro	0,026	-1,617	-2,508	-3,665	-5,258	-6,512	-3,256
Ferros	-16,357	-18,310	-19,854	-21,458	-23,673	-25,423	-20,846
Morro do Pilar	-8,024	-4,721	-3,086	-1,505	0,503	1,962	-2,478
Raul Soares	0,833	5,056	7,348	9,551	12,333	14,343	8,244
Ponte Nova	10,386	8,702	7,366	5,976	4,182	2,528	6,524
Acaiaca	-2,269	-1,017	2,006	2,791	1,771	2,512	0,966
Piranga	-1,501	-3,450	-5,004	-6,629	-8,889	-10,690	-6,027
Braz Pires	-26,393	-31,058	-34,738	-39,470	-45,177	-49,701	-37,756
Desterro de Melo	-3,419	-1,664	-0,409	0,786	2,275	3,335	0,151

Tabela 18. Erro médio percentual (%) entre os dados de intensidade máxima média de precipitação obtidos pelo método de desagregação e pelas equações IDF, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estações	TR (anos)						EPM - estação
	2	5	10	20	50	100	
Tumiritinga	4,777	-3,687	-5,335	-5,100	-3,117	-0,836	-2,216
Pancas	21,308	13,607	11,141	10,142	9,983	10,316	12,750
Caldeirão	4,664	-13,193	-18,823	-21,153	-21,502	-20,617	-15,104
Barra do Cuieté	12,947	0,990	-2,318	-3,298	-2,474	-0,830	0,836
Assaraí	14,705	8,376	7,152	7,434	8,940	10,487	9,516
Alto Rio Novo	6,442	-6,015	-8,632	-8,520	-5,963	-2,922	-4,268
Dom Cavati	16,767	12,027	11,623	12,483	14,692	16,874	14,078
Cenibra	11,705	1,848	0,252	1,108	4,388	7,866	4,528
Cachoeira dos Óculos	18,909	-1,175	-11,055	-18,441	-25,644	-29,623	-11,172
Naque Velho	3,904	-3,350	-3,714	-2,025	1,927	5,691	0,405
Conceição do Mato Dentro	6,299	-2,076	-3,802	-3,635	-1,685	0,623	-0,713
Ferros	9,110	17,646	23,902	29,775	36,914	41,852	26,533
Morro do Pilar	4,043	-5,478	-7,125	-6,482	-3,564	-0,392	-3,166
Raul Soares	3,576	-3,990	-4,555	-3,041	0,719	4,364	-0,488
Ponte Nova	17,402	6,428	2,382	0,188	-0,954	-0,882	4,094
Acaiaca	21,975	4,998	-2,797	-8,292	-13,737	-16,397	-2,375

Piranga	10,157	-4,333	-10,988	-15,793	-20,892	-23,597	-10,908
Braz Pires	-3,104	-6,603	-6,333	-5,082	-3,142	-1,176	-4,240
Desterro de Melo	0,365	-3,940	-3,873	-2,048	0,731	3,497	-0,878

A média do EMP para as 19 estações pluviográficas, pela interpolação, foi -3,9% indicando que os valores de  $i_m$  interpolados foram ligeiramente maiores que os  $i_m$  obtidos via equações IDF. O mesmo comportamento foi detectado no estudo de Almeida (2017), em que o EMP para as 218 estações do estudo foi de -0,88%.

Para o método de desagregação de chuvas diárias o EMP variou de -15% a 26% nas estações pluviográficas Caldeirão e Ferros, respectivamente, sendo a média do erro para as estações pluviográficas de 0,91%.

Cecílio & Pruski (2003) compararam metodologias de interpolação dos parâmetros das equações IDF e obtiveram, para 28 das 625 combinações realizadas, valores de erro médio percentual (EMP) considerados pequenos, variando entre 18,65 e 19,83%, (valores considerados estatisticamente não-diferentes). Xavier et al. (2014) ao comparar equações de chuvas intensas existentes no estado do Espírito Santo obtiveram como resultado o EMP de 13,8%. Sendo assim, os valores de EMP encontrados no presente trabalho, para o método de desagregação, foram semelhantes aos valores encontrados em outros estudos de chuvas intensas, os quais foram considerados pequenos.

Na Figura 3 está apresentado o EMP referente ao método de desagregação para cada estação pluviográfica do estudo. Apesar de o valor médio do erro para todas as estações demonstrar uma tendência de subestimativa dos dados ( $EMP > 0$ ), nota-se que a maior parte das estações apresentaram valores de  $EMP < 0$ , indicando que nestas estações ocorreu uma superestimativa dos dados de  $i_m$  pelo método de desagregação.



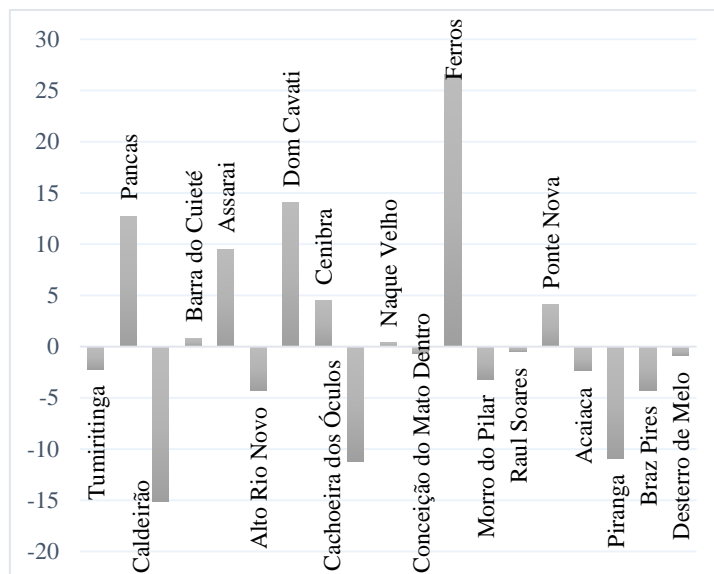


Figura 3. Erro médio percentual (EMP) das intensidades máximas médias de precipitação pluvial calculadas por meio da metodologia de desagregação de chuvas diárias, em relação aos valores de  $i_m$  obtidos pelas equações IDF para as 19 estações pluviográficas da bacia do rio Doce.

Os procedimentos de interpolação e de desagregação de chuvas de 24 h apresentaram variações significativas em relação ao método convencional pelo teste t de Student. Porém, o índice de concordância de Willmott mostrou que os desvios calculados entre os métodos foram baixos e, pelo coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe, as metodologias avaliadas apresentaram bom desempenho em relação ao método convencional.

Apesar dos procedimentos estatísticos apresentarem resultados ligeiramente melhores para a interpolação das  $i_m$ , ressalta-se que as diferenças foram insignificantes, indicando que ambos os procedimentos são adequados para a obtenção dos parâmetros da equação de chuvas intensas em regiões desprovidas de dados pluviográficos.

É importante destacar que o método de desagregação, além de ser de fácil aplicação, tem a vantagem de estimar a intensidade máxima média de precipitação a partir das alturas pluviométricas obtidas localmente, refletindo de maneira mais adequada as condições locais do clima. Sendo assim, a metodologia de desagregação de chuvas se mostra uma importante ferramenta para a estimativa de chuvas intensas em locais desprovidos de registros pluviográficos, com a ressalva de que os coeficientes de desagregação devem ser específicos da região de interesse e do período de retorno que se quer avaliar no projeto.

## 5. CONCLUSÕES

1. Os parâmetros de ajuste das equações intensidade-duração-frequência estabelecidas obtidas para cada uma das 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce apresentaram alta variabilidade, o que reforça a necessidade de obtenção de equações específicas para cada localidade de interesse.
2. Os coeficientes de desagregação de chuvas, determinados para as cinco regiões homogêneas da bacia do rio Doce, foram representativos, não havendo a necessidade de se adotar coeficientes individuais para cada estação pluviográfica.
3. Os coeficientes de desagregação apresentaram influência com o período de retorno, por isso estes devem ser calculados de acordo com o período de retorno que se deseja avaliar no projeto.
4. Ambos os procedimentos de interpolação e de desagregação de chuvas se mostraram adequados para as estimativas das intensidades máximas médias de precipitação pluvial em locais desprovidos das equações de intensidade-duração-frequência.
5. O método de desagregação de chuvas diárias apresenta a vantagem de ser de fácil utilização e de agregar a informação local de altura precipitada na determinação da intensidade máxima média de precipitação, se mostrando mais vantajoso para a estimativa de chuvas intensas em locais com a presença de estações pluviométricas.

## 6. REFERÊNCIAS

- Almeida, L. T. de. Espacialização de chuvas: uma nova proposta. Viçosa: UFV, 2017. 76p. Dissertação Mestrado
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711–728. 2013.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Especificações técnicas - Plataformas de coletas de dados - PCDs. Brasília: ANA, SGH, 2011. 21p.
- Aragão, R. de; Santana G. R. de; Costa, C. E. F. F. da; Cruz, M. A. S.; Figueiredo, E. E. de; Srinivasan V. S. Chuvas intensas para o Estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.3, p.243–252, 2013.
- Back, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.16, n.2, p.211–222, 2001.
- Back, A. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.2, p.170–175, 2009.
- 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, n.4, p.391–398, 2012.
- Baltokoski, V.; Tavares, M. H. F.; Machado, R. E.; Oliveira, M. P. de. Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro – Pato Branco (PR). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.253–261, 2010.
- Borges, G. M. R.; Thebaldi, M. S. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, v.11, n.4, 2016.
- Caldeira, T. L.; Beskow, S.; Mello, C. R. de; Faria, L. C.; Souza, M. R. de; Guedes, H. A. S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no Estado do Rio Grande Do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.3, p.197–203, 2015.
- Campos, A. R.; Santos, G. G.; Silva, J. B. L.; Irene Filho, J.; Loura, D. de S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado do Piauí. *Revista Ciência Agrônômica*, v.45, n.3, p.488–498, 2014.
- Cardoso, C. O.; Ullmann, M. N.; Bertol, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n.1, p.131–140, 1998.
- Carvalho, J. R. P. de; Assad, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.2, p.377–384, 2005.
- Castro, F. da S.; Pezzopane, J. E. M.; Cecílio, R. A.; Pezzopane, J. R. M.; Xavier, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, n.14, v.8, p.871–880, 2010.
- Cecílio, R. A.; Pruski, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.501–504, 2003.

- Cecílio, R. A.; Xavier, A. C.; Pruski, F. F.; Hollanda, M. P. de; Pezzopane, J. E. M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. *Revista Ambiente e Água*, v.4, n.3, p.82–92, 2009.
- CETESB, Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. *Drenagem urbana – manual de projeto*. 3.ed. São Paulo: CETESB, 1986. 464p.
- Collischonn, W. *Simulação hidrológica de grandes bacias*. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 270p. Tese Doutorado..
- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 1.ed. Viçosa: UFV, 1997. 390p.
- Damé, R. de C. F.; Teixeira, C. F. A.; Terra, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas - RS. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.2, p.245–255, 2008.
- Damé, R. de C. F.; Teixeira, C. F. A.; Terra, V. S. S.; Rosskoff, J. L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.1, p.46–54, 2010.
- Fiorio, P. R.; Duarte, S. N.; Rodrigues, G. de O.; Miranda, J. H. de; Cooke, R. A. Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do Estado de São Paulo. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.6, p.1080–1088, 2012.
- Franco, C. S.; Marques, R. F. P. V.; Oliveira, A. S.; Oliveira, L. F. C. de. Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na bacia hidrográfica do rio Verde, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.7, p.735–741, 2014.
- Freire, F. G. C.; Barreto, H. B. F.; Batista, R. O.; Santos, W. de O. Estudo das precipitações para diferentes períodos de retorno no município de São João Do Jaguaribe/CE. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.7, n.5, p.300–305, 2013.
- Freitas, A. J.; Silva, D. D. da; Pruski, F. F.; Pinto, F. A.; Pereira, S. B.; Gomes Filho, R. R.; Teixeira, A. F.; Baena, L. G. N.; Mello, L. T. A.; Novaes, L. F. Equações de

chuvas intensas para o estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: COPASA; Viçosa: UFV, 2001. 65p.

Garcia, S. S.; Amorim, R. S. S.; Couto, E. G.; Stopa, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.6, p.575–581, 2011.

Genovez, A. M.; Zuffo, A. C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.5, n.3, p.45–58, 2000.

Heneker, T. M.; Lambert, M. F.; Kuczera, G. A point rainfall model for risk-based design. *Journal of Hydrology*, v.247, p.54–71, 2001.

Keller Filho, T.; Assad, E. D.; Lima, P. R. S. de R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v.40, n.4, p.311–322, 2005.

Longo, A. J.; Sampaio, S. C.; Suszek, M. Equações de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel, PR. *Revista Varia Scientia*, v.6, n.11, p.119–127, 2006.

Machado, R. E.; Vettorazzi, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.4, p.735–741, 2003.

Mazzini, P. L. F.; Schettini, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v.13, n.1, p.53–64, 2009.

Mello, C. R. de; Viola, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.1, p.37–44, 2012.

Mello, C. R. de; Silva, A. M. da. *Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas*. 1.ed. Lavras: UFLA, 2013. 455p.

Melo Júnior, J. C. F. de; Sedyama, G. C.; Ferreira, P. A.; Leal, B. G. Determinação de

- regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no Leste do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.408–416, 2005.
- Miranda, J. I. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. 2.ed. Brasília: EMPRAPA, 2010. 425p.
- Naghetini, M.; Pinto, E. J. de A. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.
- Oliveira, L. F. C. de; Antonini, J. C. dos A.; Griebeler, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.1, p.22–33, 2008.
- Oliveira, L. F. C. de; Cortês, F. C.; Wehr, T. R.; Borges, L. B.; Sarmiento, P. H. L.; Griebeler, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.35, n.1, p.13–18, 2005.
- Oliveira, L. F. C.; Viola, M. R.; Pereira, S.; Morais, N. R. de. Modelos de predição de chuvas intensas para o Estado do Mato Grosso, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, v.6, n.3, p.274–290, 2011.
- Pereira, S. B.; Nóia, C. P. Z.; Almeida, R. A.; Coelho, C. D. Method adjustment and equation set of maximum rainfall intensity, duration and frequency in the Mato Grosso Do Sul State. *Engenharia Agrícola*, v.34, n.4, p.716–726, 2014.
- Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce - PIRH Doce. v.1. Relatório Executivo. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010. 472p.
- Pfaffstetter, O. Chuvas intensas no Brasil. 1.ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1957. 419p.
- Pruski, F. F.; Silva, D. D. da; Teixeira, A. de F.; Cecílio, R. A.; Silva, J. M. A. da; Griebeler, N. P. Hidros: Dimensionamento de Sistemas Hidroagrícolas. Viçosa: UFV, 2006. 259 p.
- Pruski, F. F.; Silva, D. D. da; Teixeira, A. de F.; Silva, J. M. A. da; Cecílio, R. A.; Silva, D. F. Plúvio 1.3.: Chuvas intensas para o Brasil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador. Anais... Salvador: sociedade brasileira

agrícola, 2002. CD-Rom.

- Reis, M. H.; Griebeler, N. P.; Sarmiento, P. H. L.; Oliveira, L. F. C. de; Oliveira, J. M. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no Estado de Goiás e Distrito Federal. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais... Goiânia: INPE, 2005. p.229–236.
- Santos, G. G.; Figueiredo, C. C. de; Oliveira, L. F. C. de; Griebeler, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.899–905, 2009.
- Santos, G. G.; Griebeler, N. P.; Oliveira, L. F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.2, p.115–123, 2010.
- Senna, R. S. de; Xavier, A. C.; Lima, J. S. de S.; Cecílio, R. A. Metodologias para Estimativa dos parâmetros da equação de chuvas intensas no Estado do Espírito Santo. *Engenharia na Agricultura*, v.18, n.6, p.496–503, 2010.
- Silva, D. D. da; Gomes Filho, R. R.; Pruski, F. F.; Pereira, S. B.; Novaes, L. F. de. Chuvas intensas no Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.362–367, 2002.
- Silva, D. D. da; Pereira, S. B.; Pruski, F. F.; Gomes Filho, R. R.; Lana, A. M. Q.; Baena, L. G. N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. *Engenharia na Agricultura*, v.11, n.31, p.7–14, 2003.
- Silva, K. R. da; Cecílio, R. A.; Xavier, A. C.; Pezzopane, J. R. M.; Garcia, G. de O. Interpolação espacial da precipitação no Estado do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente*, v.18, n.4, p.417–427, 2011.
- Silva Neto, V. L. da. Chuvas intensas no Estado do Tocantins. Gurupi:UFT, 2016. 116p. Dissertação Mestrado
- Silva Neto, V. L. da; Viola, M. R.; Silva, D. D. da; Mello, C. R. de; Pereira, S. B.; Giong, M. Daily rainfall disaggregation for Tocantins State, Brazil. *Revista Ambiente e Água*, v.12, n.4, p.605–617, 2017.



- Sousa, H. T. de; Pruski, F. F.; Bof, L. H. N.; Cecon, P. R.; Souza, J. R. de C. SiscaH 1.0: Sistema Computacional Para Análises Hidrológicas. Brasília: ANA; Viçosa: UFV, 2009.
- Teodoro, P. E.; Neivock, M. P.; Marques, J. R. F.; Flores, A. M. F.; Rodrigues, C. C. B. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.9, n.2, p.1–9, 2014.
- Tucci, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007. 943p.
- Valverde, A. E. L.; Silva, D. D. da; Pruski, F. F.; Leite, H. G.; Brandão, V. dos S. Análise regional de chuvas intensas para a bacia do rio Doce. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n.4, p.157–168, 2003.
- Villela, S. M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- Xavier, A. C.; Cecílio, R. A.; Lima, J. S. de S. Módulos em Matlab para interpolação espacial pelo método de krigagem ordinária e do invers da distância. Revista Brasileira de Cartografia, v.62, n.1, p.67–76, 2010.
- Xavier, A. C.; Cecílio, R. A.; Pruski, F. F.; Lima, J. S. de S. Methodology for Spatialization of intense rainfall equation parameters. Engenharia Agrícola, v.34, n.3, p.485–495, 2014.

## ANEXO I

Média ( $\bar{X}$ ) e desvio-padrão (S), em mm, das séries de altura pluviométrica máxima anual com diferentes durações, para as 19 estações pluviográficas localizadas na bacia do rio Doce

Estação	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		1 h		2 h		4 h		6 h		12 h		24 h		1 dia	
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
Tumiritinga	20,0	4,8	29,0	7,1	33,8	7,7	39,4	10,0	42,2	10,7	45,5	11,1	53,9	13,3	64,9	15,2	71,0	17,7	76,0	20,7	83,4	23,4	80,2	21,7
Pancas	21,2	4,2	31,2	5,9	35,9	8,3	41,5	10,4	46,8	12,1	48,9	14,5	61,2	20,4	70,7	22,7	74,0	23,7	77,8	24,6	87,0	24,0	79,6	23,6
Caldeirão	18,5	4,9	27,0	6,1	31,3	7,7	35,7	9,5	38,8	11,3	43,0	14,6	53,5	17,3	64,0	21,7	70,4	26,6	82,0	37,3	92,4	34,9	86,1	37,2
Barra do Cuieté - Jusante	19,5	3,1	28,4	7,9	34,8	8,9	38,2	9,0	41,6	10,7	44,9	13,9	53,1	16,8	64,1	20,7	67,8	22,7	70,8	23,6	77,9	24,3	71,6	23,9
Assarai - Montante	21,6	7,0	32,5	7,6	40,2	8,3	44,4	10,2	47,2	9,7	48,0	9,9	56,3	13,5	65,1	19,1	68,5	20,9	71,5	22,9	83,9	19,9	78,2	22,1
Alto Rio Novo	19,1	6,1	28,4	10,9	32,6	12,7	36,8	14,1	40,4	14,4	42,7	14,6	49,1	14,1	54,9	15,3	59,8	20,6	68,9	24,7	71,2	25,1	69,1	24,7
Dom Cavati	21,0	4,2	29,8	6,1	35,9	5,8	43,5	8,8	47,9	11,5	50,2	12,9	57,3	15,0	71,1	17,3	73,8	18,3	79,6	19,2	92,3	21,5	82,0	18,5
Cenibra	22,7	8,2	30,6	11,4	36,8	12,6	42,3	12,9	47,8	13,8	49,8	16,4	63,9	24,6	75,8	33,1	83,6	37,7	91,9	36,7	100,3	36,6	95,5	35,4
Cachoeira dos Óculos	22,1	4,1	29,8	5,5	36,1	6,8	40,2	8,0	42,0	9,5	43,8	8,3	52,1	10,0	67,1	20,9	73,8	28,2	81,0	35,2	88,0	35,6	83,2	35,7
Naque Velho	21,4	7,4	33,0	9,4	37,8	12,8	43,9	14,2	47,9	13,0	51,1	13,0	67,3	17,0	86,7	25,9	92,3	29,6	99,2	32,4	106,8	33,1	103,0	31,1
Conceição do Mato Dentro	21,6	5,2	30,2	6,5	36,4	8,2	40,8	9,8	43,5	10,3	45,5	10,3	56,8	13,7	66,5	16,5	72,3	17,1	84,2	16,2	95,0	23,5	91,0	20,4
Ferros	18,3	3,8	26,9	6,2	32,5	6,5	36,6	7,9	38,7	8,6	40,5	9,9	51,0	13,9	61,2	17,3	64,4	17,6	72,9	16,4	84,0	18,2	78,5	16,5
Morro do Pilar	21,7	6,1	30,6	9,2	37,1	10,6	40,0	11,0	44,0	11,5	46,3	12,1	54,8	14,5	66,0	18,0	73,7	23,2	81,1	24,3	96,4	25,1	89,3	23,9
Raul Soares - Montante	19,4	6,5	29,9	8,5	36,8	11,1	41,9	12,5	46,3	16,0	51,2	16,9	63,0	19,1	74,3	21,1	79,3	21,9	89,1	27,9	101,1	28,6	96,5	29,2
Ponte Nova - Jusante	19,4	3,0	27,9	5,1	34,8	6,5	40,7	8,6	45,0	10,6	49,4	13,3	62,2	16,2	75,1	24,7	80,2	29,5	85,0	28,0	93,5	29,9	87,9	27,0
Acaiaca - Jusante	21,0	5,9	27,6	7,3	34,2	7,6	36,8	9,3	39,7	9,8	43,1	12,4	48,0	13,5	59,6	27,6	65,7	35,2	71,5	36,3	78,8	38,0	74,6	35,7
Piranga	21,2	3,4	27,2	4,7	33,4	5,2	38,2	8,1	41,6	8,5	44,2	9,1	50,0	12,4	57,0	13,2	63,9	15,7	74,4	23,7	88,9	32,3	80,3	29,6
Braz Pires	20,1	0,8	30,9	5,5	35,5	6,9	40,1	7,4	43,2	7,5	44,8	8,6	53,4	11,0	59,0	9,7	62,1	9,8	68,1	9,9	81,8	18,6	74,2	14,9
Desterro de Melo	21,9	4,8	32,3	8,8	39,3	9,6	45,0	11,2	50,0	13,4	53,3	13,9	59,6	14,7	66,1	15,6	71,9	14,0	79,6	17,3	96,2	18,5	86,9	23,4
Média	20,6	4,9	29,7	7,4	35,5	8,6	40,3	10,2	43,9	11,2	46,6	12,4	56,1	15,3	66,8	19,8	72,0	22,6	79,2	25,1	89,4	26,9	83,6	26,0
Desvio Padrão	1,3	1,8	1,9	1,9	2,3	2,3	2,8	2,0	3,4	2,2	3,5	2,6	5,5	3,4	7,6	5,5	7,9	7,2	8,3	7,8	9,0	6,6	8,9	6,7
CV (%)	6,3	36,1	6,4	26,2	6,4	27,2	6,9	20,1	7,8	19,5	7,6	20,6	9,7	22,3	11,4	27,9	11,0	31,6	10,4	31,0	10,1	24,4	10,7	25,7
Amplitude	4,5	7,4	6,1	6,7	8,8	7,6	9,3	6,9	11,3	8,5	12,7	8,5	19,4	14,6	31,8	23,4	32,5	27,8	31,1	27,3	35,6	19,8	33,9	22,3