UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CENTRO TECNOLÓGICO PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

GABRIELLA PASSAMANI MOREIRA DE ALMEIDA

AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES DE PERDA DE SOLO PARA USO EM MODELAGEM DISTRIBUÍDA DE GRANDES BACIAS

Vitória

GABRIELLA PASSAMANI MOREIRA DE ALMEIDA

AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES DE PERDA DE SOLO PARA USO EM MODELAGEM DISTRIBUÍDA DE GRANDES BACIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental na área de Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Costa Buarque

Vitória 2021

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar e iluminar o meu caminho, por ter me dado saúde e forças para superar os momentos difíceis e me permitir esta conquista.

Aos meus pais, Ricardo e Dola, e aos meus irmãos, Renata e Bruno, por me apoiarem em todas as decisões e por todo amor, incentivo, apoio e suporte necessário. Amo muito vocês!

Ao meu namorado, Flavio, que ficou ao meu lado em todos os momentos me apoiando e me incentivando. Obrigada pelo amor, paciência e parceria de sempre.

Ao meu Orientador, Professor Diogo Costa Buarque, pela oportunidade que foi me dada, por todo ensinamento, paciência e incentivo durante esses anos. Muito obrigada por tudo.

Ao Professor Warley Teixeira Guimarães, pelo incentivo para o início dessa caminhada.

Aos demais professores cujos ensinamentos me possibilitaram realizar este trabalho.

A todos os amigos e amigas, antigos e aos novos que o mestrado me deu. Em especial, aos amigos Lizandra Broseghini Föeger, Hugo de Oliveira Fagundes e Bruno Muniz de Freitas Miotto, por toda ajuda durante o desenvolvimento do trabalho.

À CAPES pela bolsa de estudos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta etapa!

RESUMO

A erosão é um dos principais fatores de degradação do solo e pode causar diversas modificações em sua estrutura, como o aumento da produção e do transporte de sedimentos e assoreamento de corpos hídricos. Por isso, tornam-se cada mais importantes os estudos hidrossedimentológicos. Os modelos matemáticos têm sido muito utilizados para a compreensão da dinâmica de sedimentos em bacias hidrográficas. Em bacias de grandes escalas, usualmente são utilizados modelos conceituais e distribuídos, que integram um módulo hidrológico em sua estrutura. O MGB-SED é um modelo hidrossedimentológico acoplado ao modelo MGB, que utiliza a equação da MUSLE, para o cálculo de produção de sedimentos em escala de tempo diária. Além da MUSLE na modelagem distribuída de grandes escalas para simulação contínua, outras equações de perda de solo têm potencial para essas aplicações. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial das equações de perda de solo, MUSLE, USLE-M e RUSLE2 para uso na modelagem distribuída na bacia hidrográfica do rio Doce, com o uso do modelo MGB-SED. Foi avaliada a variabilidade sazonal dos sedimentos em suspensão e de parâmetros de qualidade da água, turbidez e sólidos totais suspensos, em comparação com dados de concentração de sedimentos observados, a variabilidade espacial da carga anual de sedimentos gerada em cada minibacia e de sedimentos em suspensão em cada trecho de rio além da relação obtida entre vazão sólida e vazão líquida para cada equação. A avaliação realizada mostrou que os resultados obtidos pelas três equações foram capazes de representar a variabilidade temporal dos sedimentos em suspensão ao longo da bacia do rio Doce e a sua dinâmica de sedimentos, porém, os resultados obtidos com a MUSLE apresentaram os ajustes mais próximos aos dados observados e as melhores estatísticas para a maioria das estações avaliadas, seguida pela equação da USLE-M e por último a RUSLE2.

Palavras-chave: Equações de perda de solo. Modelagem hidrossedimentológica. Sedimentos.

ABSTRACT

Erosion is one of the main factors of soil degradation and can cause several changes in its structure, such as increased production and transportation of sediments and silting of water bodies. For this reason, hydrosedimentological studies are becoming increasingly importante. Mathematical models have been widely used to understand the dynamics of sediments in watersheds. In large-scale basins, conceptual and distributed models, which integrate a hydrological module in their structure are usually preferred. The MGB-SED is a hydrosedimentological model coupled to the MGB model, which uses the MUSLE equation, to calculate sediment production on a daily time scale. Besides MUSLE, in large scale distributed modeling for continuous simulation, other soil loss equations have potential for these applications. The objective of this study was to evaluate the potential of the soil loss equations, MUSLE, USLE-M and RUSLE2 for use in distributed modeling in the Doce River watershed, using the MGB-SED model. The seasonal variability of suspended sediments and water quality parameters, turbidity and total suspended solids were evaluated, in comparison with observed sediment concentration data, the spatial variability of the annual sediment load generated in each mini-basin and of suspended sediments in each stretch of river in addition to the relationship between solid flow and net flow for each equation. The evaluation carried out showed that the results obtained by the three equations were able to represent the temporal variability of suspended sediments along the Doce River watershed and its sediment dynamics, however, the results obtained with MUSLE showed the adjustments closest to the observed data and the best statistics for most evaluated stations, followed by the USLE-M equation and finally RUSLE2.

Keywords: Soil loss equations. Hydrosedimentological modeling. Sediments.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	5
2.1	OBJETIVO GERAL	5
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1	EROSÃO	6
3.2	ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO	9
3.3	TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTOS	.10
3.4	CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS E EQUAÇÕES PERDA DE SOLO	DE .12
3.5	EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO	.13
3.5.1	Universal Soil Loss Equation (USLE)	.14
3.5.2	Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)	.16
3.5.3	Revised Universal Soil Loss Equation 2 (RUSLE2)	.17
3.5.4	Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)	.17
3.5.5	Universal Soil Loss Equation Modified (USLE-M)	.19
3.5.6	Soil Loss Estimator for Southern Africa (SLEMSA)	.20
3.6	MODELOS COMPUTACIONAIS	.21
3.6.1	Modelos para estimativa de perda de solo/erosão	.22
3.6.2	Modelos de transporte de sedimentos	.24
3.6.3	Modelos integrados de erosão e transporte de sedimentos	.26
3.6.4	Estudos com comparações de equações/modelos de perda de solo	.36
4	METODOLOGIA	.39
4.1	ÁREA DE ESTUDO	.41
4.1.1	Características da bacia	.42
4.1.2	2 Dinâmica de sedimentos na bacia	.43
4.1.3	Motivação para a escolha da área	.44
4.2	DADOS UTILIZADOS	.45
4.2.1	Dados hidroclimatológicos	.45
4.2.2	Dados de sedimentos	.49
4.2.3	Dados de qualidade da água	.51
4.2.4	Dados topográficos e tipo e uso do solo	.52
4.3	MODULO HIDROLOGICO	.54
4.3.1	Discretização da Bacia Hidrográfica	.54
4.3.2	Relações geomorfológicas	.56
4.3.3	Parametros fixos	.57
4.3.4	Parametros calibráveis, calibração e validação do modelo hidrológico.	.59

4.4	MÓDULO DE SEDIMENTOS	61
4.4.1	Inclusão de novas equações de perda de solo	62
4.5	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS EM COMUM	62
4.5.1	Parâmetros em comum entre as equações da MUSLE, USLE-M e RUSL	E2 62
4.6	DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS ESPECÍFICOS	64
4.6.1	Parâmetros específicos da equação da MUSLE	64
4.6.2	Parâmetros específicos da equação RUSLE 2	66
4.6.3	Parâmetros específico da equação USLE-M	72
4.7	TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTOS (SDR)	74
4.7.1	Simulação, calibração e validação do módulo de sedimentos	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
5.1	CALIBRAÇÃO DO MÓDULO HIDROLÓGICO	78
5.2	VALIDAÇÃO DO MÓDULO HIDROLÓGICO	85
5.3	EROSIVIDADE	91
5.4	MODELAGEM DE SEDIMENTOS	98
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES1	59
6.1	CONCLUSÃO GERAL	59
6.2	RECOMENDAÇÕES1	61
REFÍ	ÊRENCIAS1	63
ANE	XO A – FORMULAÇÕES MATEMÁTICAS DO MGB-SED1	83
ANE	XO B – PARÂMETROS CALIBRÁVEIS DO MGB PARA A BACIA DO RIO DO 1	CE 95
ANE	XO C – ESTAÇÕES DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS2	16
	XO D – Valores DE A, B E R ² OBTIDOS PELA REGRESSÃO LINEAR I)A
ERU		10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma resumo da metodologia deste estudo40
Figura 2 - Mapa de localização da Bacia do rio Doce com destaque para o rio Doce e seus principais afluentes41
Figura 3 - Mapa de localização das estações pluviométricas selecionadas na Bacia do rio Doce46
Figura 4 - Mapa de localização das 62 estações fluviométricas com dados diários, selecionadas para uso na modelagem na Bacia do rio Doce com o modelo MGB-SED. 48
Figura 5 - Mapa de localização das 9 estações meteorológicas selecionadas na Bacia do rio Doce49
Figura 6 - Mapa de localização das estações sedimentométricas selecionadas na Bacia do rio Doce
Figura 7 - Relevo na bacia do rio Doce obtido a partir dos dados do SRTM com resolução de 90 metros52
Figura 8 - Mapa de resposta hidrológica para a bacia do rio Doce, derivado do mapa de URH da América do sul de Fan et al. (2015)54
Figura 9 - Distribuição espacial das 1488 minibacias delimitadas na bacia do rio Doce. 55
Figura 10 - Distribuição espacial das 60 sub-bacias delimitadas na bacia do rio Doce.
Figura 11 - Coeficiente de NASH calculado para as estações fluviométricas selecionadas na bacia do rio Doce, no período de calibração (1990 a 2014) e representadas pelos círculos
Figura 12 - Coeficiente de NASHLOG calculado para estações fluviométricas selecionadas da bacia do rio Doce no período de calibração (1990 a 2014) e representadas pelos círculos
Figura 13 - Erro de volume (ΔV) calculado para estações fluviométricas selecionadas da bacia do rio Doce no período de calibração (1990 a 2014) e representadas pelos círculos
Figura 14 - Hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de calibração (1990 a 2014) para a estação 56990000 (São Sebastião da Encruzilhada). 83
Figura 15 - Comparação dos hidrogramas do vazãos diárias obsorvadas o simuladas

Figura 15 - Comparação dos hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de calibração (1990 a 2014) para a estação 56990000 (São Sebastião da

Figura 21 - Hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de validação (1970 a 1989) para a estação 56990000 (São Sebastião da Encruzilhada).

Figura 24 - Comparação dos hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de validação (1970 a 1989) para a estação 56992000 (Baixo Guandu). O Gráfico mostra resultados no período de 1975 a 1978 para uma melhor visualização.

 Figura 27 - Percentual acumulado da erosividade média mensal nas minibacias onde estão localizados os postos sedimentométricos 14 (estação 56860000 – São Pedro do Suaçuí) e 27 (estação CEMIG) no período de validação (1970 a 1989)......96

Figura 30 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período calibração (1990 a 2014)......103

Figura 34 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de calibração (1990 a 2014)......105

Figura 37 – Distribuição espacial do SDR obtido para cada sub-bacia com a equação da RUSLE2......111

Figura 38 – Distribuição espacial do SDR obtido para cada sub-bacia para a equação da USLE-M......112

 Figura 40 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989)......115

Figura 46 - Coeficientes do viés percentual (PBIAS) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989)......118

Figura 48 – Distribuição espacial da precipitação média na bacia (a) e dos fatores de erosividade médios da RUSLE2 (b), USLE-M (c) e MUSLE (d)......123

Figura 49 – Distribuição espacial do escoamento superficial médio na bacia (a) e dos fatores de erodibilidade médios da RUSLE2 (b), USLE-M (c) e MUSLE (d)......124

Figura 50 – Distribuição espacial do fator médio de uso e cobertura do solo da MUSLE e da RUSLE2(a) e da USLE-M (b)......125

Figura 52 - Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação 56425000 (Fazenda Cachoeira D'antas) no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra

Figura 56 – Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação 56994500 (Colatina) no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 2002 a 2012 e (b) 1991 a 2001 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.136

Figura 57 – Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação de Ouro Fino - CEMIG no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 1991 a 1998 e (b) 1999 a 2005 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.138

Figura 59 - Curva vazão sólida x vazão líquida no posto 56539000 (Cachoeira dos Óculos Montante). Os círculos azuis são os valores médios simulados pela MUSLE em faixas de vazão líquida, os verdes pela RUSLE2, os laranjas pela USLE-M os amarelos são os valores médios observados em faixas de vazão líquida......141

Figura 60 - Curva vazão sólida x vazão líquida no posto 56994500 (Colatina). Os círculos azuis são os valores médios simulados pela MUSLE em faixas de vazão líquida, os verdes pela RUSLE2, os laranjas pela USLE-M os amarelos são os valores médios observados em faixas de vazão líquida......142

Figura 62 - Gráfico de dispersão entre os (a) SST e (b) turbidez observadas com as CSS simuladas na estação 56994500 (Colatina)......145

Figura 66 - Gráfico de dispersão entre os (a) SST e (b) turbidez observadas com as CSS simuladas na estação 56110005 (Ponte Nova Jusante)......148

Figura 69 - Carga média anual específica de sedimentos gerada nas minibacias e aportadas aos trechos de rios, calculada pelo MGB-SED utilizando a equação da MUSLE no período de calibração (1990-2014)......152

Figura 70 - Carga média anual específica de sedimentos gerada nas minibacias e aportadas aos trechos de rios, calculada pelo MGB-SED utilizando a equação da RUSLE2 no período de calibração (1990-2014)......152

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 - Estações meteorológicas utilizadas na simulação49Tabela 3 - Estações de sedimentométricas50Tabela 4 - Valores de albedo (adimensional)58Tabela 5 - Valores de índice de área foliar (m²/m²)58Tabela 6 - Valores de altura da vegetação (m)58Tabela 7 - Valores de resistência superficial (s/m)58Tabela 8 - Parâmetros adotados para estimativa da produção de sedimentos66
Tabela 3 - Estações de sedimentométricas
Tabela 4 - Valores de albedo (adimensional)58Tabela 5 - Valores de índice de área foliar (m²/m²)58Tabela 6 - Valores de altura da vegetação (m)58Tabela 7 - Valores de resistência superficial (s/m)58Tabela 8 - Parâmetros adotados para estimativa da produção de sedimentos66
Tabela 5 - Valores de índice de área foliar (m²/m²)58Tabela 6 - Valores de altura da vegetação (m)58Tabela 7 - Valores de resistência superficial (s/m)58Tabela 8 - Parâmetros adotados para estimativa da produção de sedimentos66
Tabela 6 - Valores de altura da vegetação (m)
Tabela 7 - Valores de resistência superficial (s/m)58Tabela 8 - Parâmetros adotados para estimativa da produção de sedimentos66
Tabela 8 - Parâmetros adotados para estimativa da produção de sedimentos66
Tabela 9 - Estatísticas de desempenho calculadas nas estações fluviométricas de selecionadas na bacia do rio Doce, no período de calibração (01/01/1990 a 31/12/2014)
Tabela 10 - Estatísticas de desempenho calculadas para as estações fluviométricas selecionadas na bacia do rio Doce, no período de validação (01/01/1970 a 31/12/1989)
Tabela 11 - Valores máximos, mínimos e médios dos coeficientes de determinação (R ²) encontrados na regressão para os períodos de calibração e validação92
Tabela 12 - Valores máximos, mínimos e médias dos coeficientes a e b considerando todas as minibacias nos períodos seco e úmido para a calibração e validação93
Tabela 13 - Valores das estatísticas de desempenho calculados para cada uma das estações com dados de concentração de sedimentos em suspensão selecionadas na bacia do rio Doce, para o período de calibração (1990 a 2014)101
Tabela 14 - Valores das estatísticas de desempenho calculados para cada uma das estações com dados de descarga sólida selecionadas na bacia do rio Doce, para o período de calibração (1990 a 2014)102
Tabela 15 - Valores de taxa de entrega de sedimentos para as sub-baciashidrográficas do rio Doce110
Tabela 16 - Valores das estatísticas de desempenho calculados para cada uma das estações com dados de concentração de sedimentos em suspensão selecionadas na bacia do rio Doce, para o período de validação (1970 a 1989)113
Tabela 17 - Valores das estatísticas de desempenho calculados para cada uma das estações com dados de descarga sólida selecionadas na bacia do rio Doce, para o período de validação (1970 a 1989)

1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um tema de preocupação em escala global devido aos seus efeitos prejudiciais, entre outros, ao meio ambiente, à produtividade no campo, à qualidade do solo e da água e à distribuição de renda (SADEGHI et al., 2014). Entre as principais consequências da erosão tem-se a degradação dos recursos hídricos, com a transferência de sedimentos para os rios juntamente com a carga poluente a eles associadas, e o assoreamento dos cursos de água e reservatórios (MORRIS e FAN, 2010).

Situações adversas decorrentes das transformações no ambiente podem acelerar a produção e o transporte dos sedimentos e diminuir a vida útil dos reservatórios, além de ocasionar o aumento da ocorrência de enchentes, prejudicar a prática da navegação e elevar os custos de tratamento de água (BRITO, 2015). Neste sentido, a realização de estudos hidrossedimentológicos torna-se uma tarefa cada vez mais importante no gerenciamento de bacias hidrográficas.

O monitoramento das descargas sólidas nos rios que compõem as bacias hidrográficas é uma importante ferramenta de estudos e avaliações, pois permite obter dados primários sobre estes sistemas. Embora seja essencial, o monitoramento tem encontrado limitações em representar a dinâmica espacial e temporal da bacia, devido às dificuldades para a sua realização, as poucas estações de sedimentos existentes, a periodicidade de medição e ao fato de as mesmas não cobrirem toda a bacia (MORGAN, 2005). Em grandes rios, a instalação e manutenção de estações in situ é uma tarefa muito cara, limitando os dados disponíveis para a avaliação da vazão do rio e da tendência da carga de sedimentos (GALLAY et al., 2019).

Buscando auxiliar no uso dos dados monitorados para a compreensão da dinâmica de sedimentos em bacias hidrográficas, os modelos matemáticos têm sido bastante utilizados (NUGRAHENI et al., 2013; KINNELL, 2017; TAN et al., 2018; FAGUNDES et al., 2020), permitindo análises espaciais e temporais relacionadas, por exemplo, a modificações de uso da terra (BLAINSKI et al., 2017; ANACHE et al., 2018), pressão antrópica frente ao desenvolvimento econômico (SPALEVIC et al., 2017;

MANOJLOVIC et al., 2018;) e estudos envolvendo mudanças climáticas (MULLAN, 2013; ROUSTSCHEK et al., 2014; AZIM et al., 2016).

A complexidade dos problemas relacionados aos sedimentos tende a ser maiores em grandes bacias hidrográficas, visto que a quantidade de processos envolvidos aumenta com o aumento da área (LANE et al., 1997; DE VENTE et al., 2007; DE VENTE et al., 2013). O trajeto do sedimento desde seu ponto de origem até seu destino final é chamado de conectividade hidrossedimentológica (ZANANDREA, 2017), e quanto maior a área, mais bloqueios os sedimentos podem encontrar no caminho, impedindo sua conectividade (DUARTE E MARÇAL, 2017). Dessa forma, os modelos hidrossedimentológicos, que consistem em um acoplamento entre modelos hidrológicos e modelos de sedimentos são uma ferramenta muito utilizada para análise de processos erosivos e de transporte de sedimentos em grandes bacias hidrográficas (MERRIT et al., 2013; BUARQUE, 2015).

Além disso, para que seja possível representar a dinâmica temporal dos sedimentos na bacia, muitos modelos adotam escalas temporais mensais ou diárias, exigindo formulações adequadas. A integração desses modelos com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite a espacialização das propriedades físicas e características das bacias, além da visualização dos resultados dos processos hidrossedimentológicos e produção de mapas temáticos (ISMAIL e RAVICHANDRAN, 2007; ASHIAGBOR et al., 2013; MITASOVA et al., 2013; SANTOS, 2015).

Exemplos de modelos hidrossedimentológicos distribuídos são o Soil Water Assessment Tool (SWAT, ARNOLD et al., 1998), o Water Availability in Semi-Arid environments (WASA-SED, MUELLER et al., 2010) e o Modelo Hidrossedimentológico de Grandes Bacias (MGB-SED, BUARQUE, 2015, FAGUNDES 2018, FÖEGER, 2019).

Na concepção de muitos desses modelos matemáticos, sejam eles empíricos, conceituais ou de base física, a Equação Universal de Perda de Solo - USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1965) e suas derivações, MUSLE (WILLIAMS, 1975), RUSLE (RENARD et al., 1997), USLE-M (KINNELL; RISSE, 1998) e RUSLE2 (FOSTER et al.,

2003; FOSTER, 2005; USDA, 2008) tem sido amplamente utilizadas (AKSOY e KAVVAS, 2005; PANDEY et al., 2016; BENAVIDEZ et al., 2018).

Essas equações foram inicialmente elaboradas para aplicação em encostas ou pequenas bacias, porém, quando ligadas com SIG é possível sua aplicação em grandes bacias hidrográficas, podendo ser utilizadas em modelagem distribuídas de grandes escalas (ROO e JETTEN, 1999; BHATTARAI e DUTTA, 2006). Embora diversas equações tenham sido desenvolvidas para estimativa da perda de solo média anual de longo período (MERRIT et al., 2003), algumas delas também são passíveis de aplicação em escala de tempo diária ou mensal, permitindo uma melhor avaliação da evolução temporal da dinâmica dos sedimentos nas bacias hidrográficas (PALL e AL-TABBAA, 2009; CHENN e LIAN, 2016; VIGIAKI et al., 2015). Porém, para utilização de algumas dessas equações em modelos com passo de tempo diário, são necessários, por exemplo, dados de erosividade diária da chuva, os quais são mais escassos e geralmente dependem de dados de chuva discretos em escala de minutos, o que não é o tipo de informação com maior densidade de estações em comparação com os pluviômetros, que fornecem dados diários.

Diversos estudos vêm sendo realizados avaliando e comparando o potencial de aplicação de modelos e/ou equações de perda de solo, como Khaleghpanah et al. (2016), Kinnell (2017), Kinnell (2018), Nugraheni et al. (2013) e Tan et al. (2018). Porém, estes estudos são geralmente aplicados a pequenas bacias e para estimativa da perda de solo média anual de longo período.

Considerando, então, que diferentes equações de perda de solo têm potencial para aplicações na modelagem distribuída de grandes escalas para simulação com passo de tempo diário. No entanto, uma avaliação do uso destas equações para modelagem, nessas condições, não tem sido realizada. Neste sentido, o presente trabalho visa avaliar as equações de perda de solo USLE-M, RUSLE2 e MUSLE para uso na modelagem distribuída de grandes bacias, especificamente com o uso do modelo MGB-SED (BUARQUE, 2015; FAGUNDES 2018; FÖEGER, 2019). O MGB-SED, até então, permite estimar, com a aplicação da equação MUSLE, a produção de sedimentos de forma distribuída em uma bacia hidrográfica de grande escala (áreas

iguais ou superiores a 1.000 km²) e já teve diversas aplicações em grandes bacias, como Buarque (2015), Fagundes (2018), Quintela et al. (2018), Rossini et al. (2018), Fagundes et al. (2020), Rossoni e Fan (2019) e Föeger et al. (2019). Como estudo de caso, o MGB-SED foi aplicado à bacia do rio Doce, que possui uma extensão territorial de aproximadamente 86.715 km², é uma bacia considerada com uma grande quantidade de produção de sedimentos (LIMA et al., 2005), o seu rio principal, rio Doce, é o maior rio que que deságua no Estado do Espirito Santo e um dos mais importantes do país (NETO et al., 2009), além de terem sido encontrados poucos estudos relacionados a dinâmica de sedimentos realizados na região (FAGUNDES, 2018; FAGUNDES, 2020).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial de aplicação de equações de perda de solo para uso em modelagem distribuída de grandes bacias.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar estimativas de erosividade diária a partir de dados diários de precipitação para aplicação das equações RUSLE2 e USLE-M;
- Avaliar as estimativas da produção de sedimentos com cada uma das equações de perda de solo propostas utilizando o MGB-SED e como seus parâmetros podem afetar os fluxos de sedimentos na bacia do rio Doce;
- Identificar quais equações de perda de solo possuem confiabilidade em estimar a produção de sedimentos distribuída, em escala de tempo diária, para aplicação em grandes bacias hidrográficas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os estudos hidrossedimentológicos são cada vez mais utilizados devido à sua importância para compreender a dinâmica de sedimentos em bacias hidrográficas. Para auxiliar esses estudos, diversos modelos matemáticos tem sido utilizados buscando otimização dos processos e uma melhor espacialização das informações na bacia.

Neste capítulo será apresentada uma revisão de conteúdos considerados importantes para a elaboração dessa pesquisa. Esse conteúdo abrange o termo erosão, sua classificação e consequências ao meio ambiente, uma revisão das equações e modelos matemáticos utilizados para estimativa de perda de solo e/ou produção de sedimentos e uma revisão dos trabalhos que já compararam diferentes equações de perda de solo.

3.1 EROSÃO

A erosão do solo é um processo que consiste na desagregação de partículas do solo, no seu transporte por agentes erosivos e, quando não há mais energia suficiente para transportar as partículas, na deposição das mesmas (MORGAN, 2005). Fatores como a chuva, mudanças de temperaturas, ações de agentes biológicos e antrópicos, relevo do terreno e alterações na cobertura vegetal são condicionantes do processo erosivo (LAL, 2005).

A erosão do solo é um dos fatores determinantes para a degradação do solo (WEN, 2020). A importância de compreender e estudar a erosão e a degradação associada se dá devido aos seus possíveis efeitos como perda de nutrientes e orgânicos da camada superior do solo, redução da porosidade do solo, redução da capacidade de retenção e infiltração de água no solo, com consequente aumento do escoamento superficial, do transporte de sedimentos e assoreamento de corpos hídricos (MORRIS e FAN, 2010).

Entre os agentes erosivos existentes responsáveis pela desagregação e transporte das partículas, pode-se considerar como principais a água (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica). A erosão também pode ocorrer devido ao movimento de massa, que é o movimento do solo ou massas rochosas sob influência da gravidade (GUERRA et al., 2017). Em razão das características dos solos e das condições climáticas, no Brasil, a erosão hídrica é considerada o tipo de erosão que causa os maiores impactos no ambiente (FERREIRA, 1981).

A erosão, quando causada pela água é chamada de erosão hídrica e consiste no transporte de partículas de solo pela ação das águas, por meio do processo de arrastamento. Ela é considerada um dos principais processos responsáveis pela degradação física do solo, uma vez que desagrega e transporta as partículas com maior facilidade e quando associada com a atividade antrópica, pode resultar em um processo de erosão acelerada (PANACHUKI et al., 2006).

Clima, topografia, características do uso e cobertura do solo, intensidade e frequência das chuvas e, práticas conservacionistas adotadas pelo homem são alguns dos fatores que afetam a erosão hídrica (CARVALHO, 2008; PANDEY et al., 2016).

A erosão hídrica pode ser dividida em erosão fluvial (que ocorre nas encostas marginais dos rios) ou pluvial (que ocorre por meio das chuvas). A erosão hídrica pluvial pode ser subdivida em erosão por *splash* ou salpicamento, laminar, em sulcos ou ravinas, por escoamento concentrado ou por *piping* (CARVALHO, 2008).

A erosão hídrica por *splash* é produzida pelo impacto da gota da chuva que, ao atingir a superfície desprotegida do solo, desloca as partículas de sua posição original (LAL, 2005). A erosão laminar é gerada pelo escoamento superficial decorrente das precipitações, quando, geralmente, a camada mais superficial do solo já está saturada, sendo produzido um desgaste suave e uniforme em toda a sua extensão. A erosão em sulcos ocorre quando o escoamento da água sobre os solos flui ao longo de caminhos formando canais visíveis (ROSE, 1993). A erosão por escoamento concentrado é aquela que formará as voçorocas podendo ser provocada por falta de boa estrutura de solo que tenha a camada impermeável profunda, permitindo que os sulcos formados sofram deslizamentos e desabamentos pouco a pouco (CARVALHO, 2008). A erosão interna ou por *piping* é quando na presença de um lençol freático, interceptado por uma voçoroca, ocorre o surgimento de afloramentos de água. Ela ocasiona a remoção de partículas no interior do solo, formando "tubos" vazios que acarretam colapsos e escorregamentos laterais do terreno, criando novos ramos ou aumento a voçoroca (SOUZA, 2001).

A suscetibilidade de um solo à erosão é denominada erodibilidade e se altera com sua textura, estabilidade de agregados, tensão de cisalhamento, capacidade de infiltração e composição orgânica e química. Geralmente a erosão aumenta com o aumento da declividade pois há um aumento na velocidade e volume do escoamento superficial. A vegetação atua protegendo o solo através de folhas, galhos e estruturas que ficam "acima da terra" que absorvem parte da energia das gotas de chuva, escoamento e vento, e as raízes contribuem mecanicamente para a resistência do solo (MORGAN, 2005).

Os sedimentos existentes nos cursos d'água são decorrentes da erosão na bacia e no próprio leito e margens do canal. Carvalho (2008) definiu sedimento como a partícula proveniente da fragmentação das rochas, por processo físico ou químico, que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição.

A produção de sedimentos é a quantidade de sedimentos erodidos descarregados por um canal em um determinado ponto. Ele representa a quantidade total de sedimento transportado pelos afluentes da bacia para um ponto de medição e é o parâmetro de principal preocupação em estudos de reservatório. Como muitos dos sedimentos erodidos são depositados antes de deixarem a bacia hidrográfica, a produção de sedimentos é sempre muito menor do que a taxa de erosão dentro dessa mesma bacia hidrográfica. A relação entre a taxa de erosão e a produção de sedimentos é a taxa de transferência de sedimentos (SDR – *Sediment delivery ratio* – do inglês) (MORRIS e FAN, 2010). A quantidade de partículas sólidas que é desprendida na vertente de uma bacia hidrográfica e que chega aos rios é definida como aporte de sedimentos. Os sedimentos que chegam ao curso d'água podem ser classificados como carga em suspensão (carga sólida em suspensão) e carga de fundo (carga de leito) e a soma dessas cargas corresponde ao total de sedimentos que podem ser transportados no canal por um determinado escoamento sob dadas condições de contorno (WMO, 2003).

A carga de fundo, em geral, é formada por material grosseiro (areia e pedregulhos) e normalmente é transportada na região próxima ao fundo do canal, deslocando-se por arraste, saltos ou deslizamentos. A quantidade de material grosseiro transportado pelo escoamento está associada à capacidade de transporte do sedimento pela corrente, e depende da composição dos leitos, seus parâmetros hidráulicos e a vazão líquida (WMO, 2003). Já a carga em suspensão é geralmente composta de material fino (argila e silte) e seu movimento é considerado igual à velocidade da corrente, pois a velocidade de sedimentação é muito baixa. A concentração de material fino transportado depende do suprimento de sedimentos provenientes da bacia, e não possui muita relação com a vazão (WMO, 2003).

3.2 ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO

Para compreender os processos erosivos e estimar a perda de solo associada em uma bacia hidrográfica é necessário o monitoramento adequado das variáveis envolvidas no processo (MORGAN, 2005), entre elas dados hidrológicos e sedimentológicos.

As medições em campos são necessárias, porém, um problema relacionado a elas é a dificuldade e a quantidade de dados a coletar, além da dificuldade em realizar medições em todos os pontos da bacia. Para garantir que as medições não sejam influenciadas por alguns anos de chuvas anormalmente altas ou um evento extremo, medições de longo prazo são necessárias para construir uma base de dados suficiente (MORGAN, 2005) e para investigar a resposta das taxas de erosão às alterações no clima e uso da terra ou a eficiência das medidas de controle da erosão (PANDEY et al., 2016).

Devido à dificuldade de se fazer medições em campo em cada local da bacia, é difícil descrever com esses dados a taxa de erosão do solo nas escalas espacial e temporal (PANDEY et al., 2016). A fim de superar essas deficiências, as equações de perda de solo e modelos matemáticos são usados para estimar a perda de solo. Eles vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados a muitos anos com a finalidade de prever a magnitude das perdas de solo por erosão (MERRIT et al., 2003).

Para a estimativa da perda de solo, as equações mais conhecidas e utilizadas são a USLE e suas derivações como MUSLE, RUSLE, RUSLE2 e USLE-M (MERRIT et al., 2003; AKSOY e KAVVAS, 2005; BUARQUE, 2015; PANDEY et al., 2016). Tais equações são bastante aplicadas devido ao seu reduzido requerimento de dados e recursos computacionais.

A maioria dessas equações é empírica, mais simples e menos robusta, concebida a partir de condições específicas. Em relação ao intervalo de tempo, algumas equações podem ser aplicadas diariamente, sendo consideradas contínuas, e outras só em intervalos maiores, sendo considerados discretas. Geralmente elas levam em consideração para o cálculo da perda de solo fatores como as taxas de desprendimentos das partículas pelo impacto da precipitação no solo e pelo escoamento superficial, características físicas da bacia, uso e manejo do solo (MERRIT et al., 2013).

Ainda que inicialmente a escala de aplicação destas equações seja para pequenas encostas, elas têm sido utilizadas junto a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o que permite estimar a perda de solo e a produção de sedimentos na escala de bacias hidrográficas, dividindo-as em sub-bacias, representando a variabilidade espacial da bacia (MERRIT et al., 2003; BUARQUE, 2015).

3.3 TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTOS

Os sedimentos são provenientes da erosão do solo na bacia, porém nem todo o solo erodido chega ao curso hídrico principal da bacia e é transportado ao seu exutório. Parte do que é erodido pode, simplesmente, encontrar uma barreira física, evitando que o sedimento alcance o corpo receptor (LU et al., 2006). Desta forma, para estimar o aporte de sedimentos da bacia é necessário considerar uma Taxa de Transferência de Sedimentos (*Sediment Delivery Ratio* – SDR).

A taxa de entrega de sedimentos, SDR, é definida como a razão de produção de sedimentos e a perda de solo (WALLING, 1983), conforme Equação 1.

$$SDR = \frac{SY}{A} \tag{1}$$

onde SY [t/ha] é a produção de sedimentos em um determinado dia e A [t/ha] é a perda total de solo em um determinado dia.

A magnitude da taxa de transferência de sedimentos para uma determinada bacia é influenciada pela variação dos fatores geomorfológicos e ambientais, incluindo natureza, extensão e localização das fontes de sedimento, relevo e características do declive, padrão de drenagem e hidráulica dos canais, cobertura vegetal, uso do solo, textura e estrutura do solo (WALLING,1983)

Vários estudos (FERRO e MINACAPILLI, 1995; VENTE et al., 2007; WOZNICKI e NEJADHASHEMI, 2013; ZHANG et al., 2015;) sobre erosão e sedimentos foram realizados para entender melhor o vínculo entre perda de solo na vertente da bacia e a produção de sedimento na sua saída. Apesar da sua complexidade, a SDR é frequentemente estimada por equações empíricas e a área da bacia é uma das variáveis independentes mais usadas (RENFRO, 1975; WALLING, 1988; CHAVES, 2010).

Na modelagem de erosão, a SDR foi utilizada como um parâmetro constante em toda a bacia hidrográfica por um longo tempo, no entanto, houve um interesse crescente em aplicar a SDR com variabilidade espacial, ou seja, de forma distribuída. Este interesse ocorreu devido aos limites dos modelos empíricos desenvolvidos na escala de parcela aplicados a bacias hidrográfica (VIGIAK et al., 2012). Vários fatores devem ser considerados no cálculo da SDR, incluindo características fisiográficas do local (uso e tipo de solo, topografia etc.) e processos de transporte de sedimentos. Portanto,

um modelo distribuído espacialmente é mais adequado para o cálculo da SDR para uso em fins de planejamento de bacias hidrográficas (WOZNICKI e NEJADHASHEMI, 2013).

Entre as diversas formas da SDR distribuídas hoje existentes (por exemplo, MCHUGH et al., 2002; VERSTRAETEN et al., 2007; BOOMER et al., 2008; DIODATO e GRAUSO, 2009; ALI e DE BOER, 2010; VENTE et al., 2013), Lenhart et al. (2005) propôs uma formulação para estimar a SDR de forma distribuída numa bacia hidrográfica. A formulação proposta é aplicada a todos os pixels de um Modelo Digital de Elevação (MDE), considerando a distância de cada pixel à rede de drenagem, ponderada pelo inverso do gradiente de declividade do pixel para cada sub-bacia de discretização do modelo. O fator SDR é dado pelo inverso desta distância, multiplicado por um parâmetro de calibração.

Essa formulação foi testada em duas pequenas bacias (Dijle, na Bélgica central e Dill, Na Alemanha) e apresentou uma significativa melhora na predição do aporte diário de sedimentos em comparação com formulações concentradas (LENHART et al., 2015).

3.4 CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS E EQUAÇÕES DE PERDA DE SOLO

Existem diversos tipos de modelos e equações, que variam de acordo com suas complexidades e particularidades. Para determinar qual é o mais apropriado para o estudo deve-se levar em consideração a sua complexidade, a quantidade de dados necessários, a acurácia e validação, suas premissas, a variação espacial e temporal, além de seus componentes e os objetivos do usuário do modelo e/ou equação (MERRITT et al., 2003).

De forma geral, eles podem ser classificados de acordo com sua estrutura (empíricos, conceituais ou físicos), sua variabilidade espacial (concentrados ou distribuídos), os fenômenos aleatórios representados (estocásticos ou determinísticos) e de acordo com o intervalo de tempo das simulações (discretos ou contínuos) (TUCCI, 1998).

Os modelos e equações são denominados conceituais quando levam em consideração os processos físicos que ocorrem na área de estudo, enquanto os chamados empíricos se baseiam em funções que não tenham relação com os processos físicos envolvidos e se baseiam, então, na repetição de experimentos e análises estatísticas, como métodos de correlação e análises de regressão (TUCCI, 1998). Existem ainda os modelos e equações de base física que, como o próprio nome sugere, são aqueles em que seus parâmetros apresentam significado puramente físico, sendo geralmente necessário muitos desses para representar de forma mais realística o que ocorre na natureza.

Os modelos e equações concentrados representam a bacia de forma homogênea, como um único elemento. Já os Distribuídos procuram representar a variabilidade espacial das características físicas da bacia por meio da sua subdivisão em diversas unidades menores, as quais podem ser células regulares ou pequenas sub-bacias (PAZ et al., 2011). De acordo com os fenômenos aleatórios eles podem ser considerados do tipo estocástico, quando a chance de ocorrência da variável for levada em conta e então insere-se o conceito de probabilidade na formulação do modelo. Quando para uma mesma entrada o modelo e/ou a equação possui uma mesma saída (considerando condições de entrada iguais), diz-se que é do tipo determinístico. Em relação aos intervalos de tempo eles podem ser considerados contínuos, quando os fenômenos a serem descritos são contínuos no tempo ou discretos quando as mudanças que ocorrem se dão em intervalos discretos (MERRIT et al., 2003).

3.5 EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO

Como visto no item 3.4, as equações para estimativa da perda de solo têm diferentes critérios de classificação. No item abaixo serão apresentadas as equações de perda de solo encontradas em artigos e livros, entre elas a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que é uma equação de erosão do solo amplamente utilizado nos Estados Unidos e em todo o mundo e suas derivadas (MERRIT et al., 2003).

3.5.1 Universal Soil Loss Equation (USLE)

A USLE é um modelo empírico desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) em 1965, usado para estimar a taxa média anual de erosão do solo para uma dada combinação de sistema de cultivo, práticas de manejo, tipo de solo, padrão de chuva e topografia (WISCHMEIER e SMITH, 1978). A perda de solo pela USLE é determinada a partir da equação abaixo:

$$A=R.K.L.S.C.P$$
 (2)

onde A [t/ha.ano] é a perda de solo, R [Mj.mm/ha.h.ano] é o fator de erosividade das chuvas, K [t.h/Mj.mm] é o fator de erodibilidade do solo, LS [-] é o fator topográfico (L [-] é o fator comprimento de rampa e S [-] é a declividade), C [-] é o fator uso e manejo do solo e P é o fator práticas conservacionistas (-). Nessa equação, o efeito do escoamento superficial como um fator na estimativa da perda de solo é considerado implicitamente nos cálculos dos fatores K, C e P (KINNELL e RISSE, 1998).

Inicialmente a USLE desenvolvida para estimativa de perdas de solo da agricultura nos EUA, a fim de preservar os recursos do solo, mas sua aplicação foi estendida para uso em vários países (KINNELL, 2010).

Como na maioria dos modelos empíricos, a USLE não responde a eventos, fornecendo apenas uma estimativa anual da perda de solo, não incorpora a erosão por voçorocas, o que pode causar uma subestimativa da perda de solos e, como os parâmetros foram estimados para aplicação da equação no Estados Unidos, pode ser necessário realizar uma estimativa dos parâmetros quando aplicada em outras localidades. Devido a estas limitações e a sua importância na modelagem de erosão do solo, foram propostas na literatura diversas modificações e revisões do formato básico da USLE (MERRIT et al., 2003).

Embora desenvolvido para aplicação a pequenas encostas, a USLE e suas derivadas, RUSLE, USLE-M, RUSLE2 e MUSLE foram incorporadas em muitos estudos de

erosões em escala de captação e aplicações de modelagem de transporte de sedimentos.

De acordo com Merrit et al. (2003), Aksoy e Kavvas (2005), Pandey et al. (2016), Benavidez et al. (2018) e Alewell et al. (2019), atualmente a USLE e a RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) são os modelos de previsão de erosão do solo mais aplicados globalmente. Uma das principais razões por essa ampla aplicação se dá devido a seu alto grau de flexibilidade e acessibilidade aos dados, uma extensa literatura científica e comparabilidade de resultados, permitindo adaptar o modelo a quase todos os tipos de condições e regiões do mundo. No entanto, a abordagem da USLE é de modelagem empírica, com limitações significativas.

Um dos fatores da USLE é a erosividade da chuva, que é um índice que expressa o potencial da chuva em causar erosão no solo (NEARING et al., 2017). De acordo com Wischmeier e Smith (1958), a melhor variável para avaliar a erosividade é o produto da energia cinética (Ec) e sua intensidade máxima em 30 minutos (I₃₀), expressa como índice EI₃₀. Estudos demonstraram que a produção de sedimentos é diretamente proporcional ao índice EI₃₀ (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008).

Uma das dificuldades desse método é que ele requer registros pluviográficos, um tipo de informação difícil de ser obtida, além do seu processamento ser demorado e trabalhoso (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Para superar o problema de escassez de dados, várias equações foram propostas para estimar a erosividade da chuva, entre elas equações que estimam a erosividade mensal (OLIVEIRA et al., 2009; AQUINO, 2012) a erosividade anual (OLIVEIRA, 1988; COLODRO et al., 2002; CANTALICE et al., 2009), e a erosividade diária (RICHARDSON et al., 1983). No Brasil, Silva (2004) utilizou uma equação adaptada de erosividade para cada uma das regiões brasileiras, criando um mapa de erosividade anual para o Brasil. Já Mello et al. (2013), listou 54 equações propostas por diversos autores para estimativa de Erosividade mensal e anual no Brasil e também criou um mapa de Erosividade anual para o Brasil.

Para o cálculo da erosividade diária, que será necessário para a realização deste trabalho, foi utilizada uma equação geral para estimar o termo de erosividade a partir de dados diários de precipitação proposta por Richardson et al. (1983). A equação fornece um modelo simples para calcular perdas de solo de eventos a partir de dados de precipitação diários, em vez de horários. Como os registros meteorológicos diários são mais acessíveis do que os registros horários em relação à disponibilidade, a equação é potencialmente uma ferramenta valiosa para estudos de erosão, rendimento de sedimentos e poluição de fontes não pontuais.

Esse método foi testado por testado por Haith e Merrill (1987) que concluíram que o método é um robusto preditor de erosividade diária das chuvas, sendo considerado um modelo uma ferramenta prática e precisa para a erosão do solo, produção de sedimentos e estudos de poluição de fontes não pontuais. O modelo também foi testado por Elsenbeer et al. (1993), que recomendaram o uso do modelo de Richardson.

3.5.2 Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

A RUSLE (RENARD et al., 1997) é uma equação revisada da USLE que mantém seu formato básico e foi publicada trazendo melhorias no método de cálculo dos diferentes fatores da USLE. Ela também calcula a perda de solo média anual.

Entre as alterações realizadas tem-se: informatização dos algoritmos de cálculos, adição de novos mapas de erosividade das chuvas nos Estados Unidos, mudanças no termo de erodibilidade do solo, um novo método para calcular os fatores de cobertura e manejo, novas relações para os componentes topográficos (fatores L e S), entre outras melhorias (RENARD et al., 1991).

Algumas das limitações da RUSLE são: a aplicabilidade inicial desenvolvida para os Estados Unidos, a incapacidade dos modelos de capturar as interações complexas envolvidas na perda de solo e a falta de dados observacionais de erosão do solo para validação do modelo, especialmente em ambientes com escassez de dados (BENAVIDEZ et al., 2018). Diversos trabalhos aplicaram a equação da RUSLE buscando melhorias na equação e/ou para encontrar a perda de solo de um determinado local, como em Ma et al. (2010), Vaezi e Sadeghi (2011), Kim (2014), Farhan e Nawaiseh (2015), Naipal et al. (2015) e Benavidez et al. (2018).

3.5.3 Revised Universal Soil Loss Equation 2 (RUSLE2)

A RUSLE2 (FOSTER et al., 2003; FOSTER, 2005; USDA, 2008) é a mais recente da família das equações da USLE e é a equação utilizada hoje em dia nos Estados Unidos por agências governamentais para fins de planejamento de conservação. Diferentemente da USLE e da RUSLE, ela foi desenvolvida para prever as perdas médias anuais de solo usando um intervalo de tempo diário, buscando representar a variabilidade temporal da perda de solo (KINNELL, 2015).

A RUSLE2 calcula a perda média anual de solo em cada dia como:

$$Ad = Rd.K.L.S.C.Pd$$
(3)

onde Ad [t/ha.dia], é a perda de solo no dia, Rd [Mj.mm/ha.h.dia] é o fator de erosividade no dia, K [t.h/Mj.mm] é a erodibilidade do solo, LS [-] é o fator topográfico, Cd [-] é o fator de uso e manejo no solo, e Pd [-] é o fator de prática de conservacionistas que se aplica naquele dia.

Em comparação com a RUSLE, para a RUSLE2 menos pesquisas foram realizadas, no entanto, as pesquisas com a RUSLE2 vem sendo cada vez mais frequentes, seja de aplicação direta da equação (ISMAIL e RAVICHANDRAN, 2007; DABNEY et al., 2010; GEBREMICHAEL e ALAMIREW, 2012), ou comparação com outras equações/ modelos (BIN et al., 2013; KHALEGHPANAH et al., 2016; KINNELL, 2017) e também de revisão das equações existentes (BENAVIDEZ et al., 2018 e KINNELL, 2019).

3.5.4 Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)

A MUSLE (WILLIAMS, 1975) é uma modificação da USLE que teve seu fator de erosividade substituído por um fator de escoamento superficial, estimando a produção de sedimentos.

Na MUSLE, a produção de sedimentos no exutório de uma determinada bacia é dado pela seguinte equação (WILLIAMS, 1975):

$$Sed = a. (Qsup.qp.A)^b. K. LS. C. P$$
(4)

onde Sed [t] é a carga de sedimentos resultante da erosão do solo (t), Qsup [m³] é o volume de escoamento superficial, qp [m³/s] é taxa de pico do escoamento superficial, A [há] é a área superficial, K [t.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹] é o fator de erodibilidade do solo, LS [-] é o fator topográfico (L [-] é o fator comprimento de rampa e S [-] é a declividade), C [-] é o fator uso e manejo do solo, P [-] é o fator de práticas conservacionistas, e a e b são iguais a 11,48 e 0,56, respectivamente (WILLIAMS, 1975).

Duas alterações da MUSLE foram a MUST e a MUSS (WILLIAMS, 1995), nas quais os valores dos coeficientes a e b foram modificados buscando encontrar uma melhora nos resultados da produção de sedimentos resultantes do modelo. Na MUST os valores de a e b são 2,5 e 0,5, respectivamente, e na MUSS, 0,79 e 0,65, respectivamente.

Posteriormente, os coeficientes "a" e "b" da equação 4 foram considerados variáveis em função das condições fisiográficas e hidrológicas das bacias, uma vez que a relação de aporte de sedimento, que é a razão entre o aporte de sedimento e a erosão total na bacia, é muito variável (SADEGHI et al., 2007; CHAVES, 2010). No modelo MGB-SED, Fagundes (2018) considerou essas duas constantes como variáveis de calibração do módulo de sedimentos, observando que os sedimentogramas são amplificados ou reduzidos de forma proporcional à variação do parâmetro "a". Já o parâmetro "b", amplifica os sedimentogramas e intensifica seus picos e vales à medida que seu valor diminui. Com esse procedimento, Fagundes (2018) contribuiu para a melhora do desempenho do modelo, principalmente no que diz respeito a sua correlação espacial. A MUSLE tem sido aplicada em diversas bacias hidrográficas ao redor mundo como em Sadeghi et al. (2007), Khaledi Darvishan et al. (2009), Lpez-Tarazn et al. (2012), Chalov et al. (2017), Adegede e Mbajiorgu (2019) e Millares et al. (2020). Sadeghi et al. (2013) fizeram uma revisão com estudos que aplicaram a MUSLE em todo o mundo.

Vários modelos existentes utilizam a MUSLE para a estimativa da erosão em bacias (MERRIT, et al., 2003; AKSOY e KAVVAS, 2005), entre eles tem-se: o PERFECT (LITTLEBOY et. al., 1992), SWRRB (ARNOLD, et al., 1990), SWAT (ARNOLD et al., 1998) ; MGB-SED (BUARQUE, 2015) e WASE-SED (MUELLER et al., 2010).

3.5.5 Universal Soil Loss Equation Modified (USLE-M)

Embora seja conhecido há muito tempo que o escoamento superficial é um fator importante na determinação da perda de solo, os modelos USLE / RUSLE e RUSLE2 não incluem diretamente o escoamento superficial como fator na estimativa da perda de solo devido a um evento de chuva (KINNELL, 2017). Em 1998, Kinnell e Risse desenvolveram uma modificação do modelo USLE denominada USLE-M, onde há uma consideração explícita do escoamento no termo do fator de erosividade (KINNELL, 2001). A diferença da USLE-M para a MUSLE é que a primeira calcula o índice de erosividade considerando uma relação entre o escoamento superficial e o índice EI30, enquanto a segunda não considera o índice EI30.

De acordo com Kinnell e Risse (1998), ao alterar a base do índice de erosividade da USLE para incluir o escoamento superficial implica em que os valores dos fatores erodibilidade do solo (K), uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P) usados na USLE não podem ser usados diretamente na USLE-M. Isso ocorre porque esses fatores foram estimados na USLE considerando implicitamente o efeito do escoamento superficial. Já na USLE-M, o escoamento superficial é considerado explicitamente na equação, levando, então, a necessidade de recalcular os parâmetros K, C e P.

Os parâmetros L (fator comprimento de rampa) e S (declividade), que formam o fator topográfico (LS) usados na USLE e suas derivações ainda se aplicam a USLE-M porque o escoamento superficial não é considerado implicitamente nesse fator (RENARD et al, 1997).

A versão atual do USLE-M para estimar a perda de solo é (KINNELL e RISSE, 1998):

sendo A [t/ha] é a perda de solo, LS [-] é o fator topográfico, Kum [t.h/Mj.mm] é o fator de erodibilidade do solo, Cum [-] é fator uso e manejo do solo, Pum [-] é o fator de práticas conservacionistas da equação USLE-M e R [Mj.mm/ha.h.dia] o fator de erosividade que é calculado pela Equação 6:

$$R = Qr \, . EI_{30} \tag{6}$$

onde Qr [-] é o coeficiente de escoamento, determinado pela relação entre o Escoamento Superficial (Qe) e a Precipitação (Pe):

$$Qr = \frac{Qe}{Pe} \tag{7}$$

sendo Qe [mm/dia] o escoamento superficial, Pe [mm/dia] a chuva E [MJ/ha] é a energia cinética, e I30 [mm/h] índice de intensidade máxima da chuva em 30 minutos.

Alguns estudos que utilizaram a USLE-M para estimativa de perda de solo: Kinnell (2001), Kinnell (2014), Kinnell (2016), Stefano et al., (2016), Stefano et al., (2017) e Bagarello (2018). Eles mostraram um bom desempenho da equação e foram utilizados principalmente em bacias de pequena escala.

3.5.6 Soil Loss Estimator for Southern Africa (SLEMSA)

ELWELL (1978) desenvolveu, com base em dados da savana alta do Zimbábue, o modelo SLEMSA para estimar a perda anual de solo de longo período para diferentes
tipos de culturas para tomada de decisões acerca da conservação do solo. O modelo é uma adaptação da USLE para as características ambientais da região africana e considera os processos de erosão em sulcos e entressulcos (FÖEGER, 2019). A equação é dada por:

$$Z = K.X.C \tag{8}$$

onde Z [t/ha] é a média anual de perda de solo, K [t/ha] é o fator de erodibilidade do solo, X [-] é um fator topográfico, C [-] é o fator relacionado ao cultivo no solo. O valor de K é determinado relacionando a perda média anual do solo com a energia média anual da precipitação.

O modelo vem sendo aplicado com resultados satisfatórios em países do continente africano (STOCKING et al., 1988; KINAMA et al., 2007; BREETZKE; KOOMEN; CRITCHLEY, 2013).

3.6 MODELOS COMPUTACIONAIS

Além das classificações do item 3.4, os modelos também podem ser classificados de acordo com suas escalas de aplicação, que vão desde parcelas do solo até bacias hidrográficas. De acordo com HGE (2013), são consideradas grandes bacias, para efeito de modelagem, aquelas que possuem área superior a 1.000 km². Nessas escalas tem-se grandes variações topográficas, diversos usos e tipos de solo e variações dos processos hidrológicos, que estão relacionados com a geração de sedimentos (BUARQUE, 2015). Com isso, modelos distribuídos ou semidistribuídos baseados em processos são muito utilizados em bacias de grandes escalas, por apresentarem maior capacidade de representar a variabilidade espacial dos processos modelados, além de fornecer resultados distribuídos sobre a área em estudo.

Muitos problemas relacionados aos sedimentos estão associados a grandes bacias hidrográficas, visto que a quantidade de processos envolvidos aumenta com o aumento da área (DE VENTE et al., 2007; BUARQUE, 2015).

Neste sentido, os modelos hidrossedimentológicos (acoplamento entre modelos hidrológicos e modelos de sedimentos) constituem-se em uma ferramenta robusta para análise de processos erosivos e de transporte de sedimentos, uma vez que um apropriado conhecimento de hidrologia é fundamental para compreender os processos erosivos (BUARQUE, 2015).

3.6.1 Modelos para estimativa de perda de solo/erosão

Os modelos de erosão considerados simples são aqueles que estimam a perda de solo para um comprimento de rampa, sem considerar a variabilidade da erosão e da deposição ao longo da rampa. Esses modelos também utilizam valores médios anuais como entrada, sem considerar a variação temporal ao longo do ano. Os modelos mais complexos para estimativa da erosão computam valores em pontos discretos no tempo e no espaço. Estes modelos integram numericamente os valores pontuais estimados para determinar a perda de solo em encostas, pequenas áreas agrícolas, sub-bacias, bacias ou regiões (TOY et al., 2002; BUARQUE, 2015).

3.6.1.1 Water Erosion Predicion Project (WEPP)

O WEPP é um modelo de base física desenvolvido em uma iniciativa multidisciplinar entre entidades dos Estados Unidos com o objetivo de estimar a perda de solo baseados em processos físicos (LAFLEN et al., 1991; NSERL, 1995). O modelo é do tipo contínuo, com passo de tempo diário, mas também permite a realização de simulações com eventos individuais (MERRIT et al. 2003). O WEPP considera o processo de erosão entressulcos e em sulcos.

Os processos representados pelo WEPP modelo incluem os processos erosivos, hidrológicos, crescimento de plantas, decomposição de restos de colheita, entre outros (MERRIT et al., 2003).

O modelo foi usado com sucesso em todo o mundo (YU e ROSEWELL, 2001; AMORE et al., 2004, BAIGORRIA e ROMERO, 2007; SHEN et al., 2010; SINGH et al., 2011; SINGH et al., 2017) e proporciona várias vantagens sobre outras tecnologias de

previsão de erosão, como a capacidade de estimar as distribuições espacial e temporal da perda de solo e deposição e perda de solo líquida na vertente ou em cada ponto dela, tanto em nível diário quanto mensal ou anual (SINGH et al., 2011).

Contudo, o modelo também apresenta diversas limitações, como os grandes requisitos computacionais e de dados de entrada que limitam sua aplicabilidade em bacias hidrográficas onde geralmente há poucos dados ou recursos disponíveis. (MERRIT et al., 2003).

Maiores informações podem ser encontradas em Merrit et al. (2003).

3.6.1.2 Morgan-Morgan-Finney (MMF)

O Morgan-Morgan-Finney - MMF (MORGAN et al., 1984) é um modelo empírico que foi desenvolvido para estimar a perda anual do solo, inicialmente em pequenas escalas (LUGER et al., 2018). Embora se esforce para manter a simplicidade da USLE, o modelo de Morgan inclui avanços no entendimento dos processos erosivos, dando ao modelo uma base mais física (MORGAN et al., 1984; MORGAN, 2001). Ela mantém as vantagens de uma abordagem empírica em relação à facilidade de compreensão e disponibilidade de dados (MORGAN, 2001).

O MMF simplifica a erosão em duas fases: água e sedimento. A desagregação das partículas de solo pelo impacto das gotas de chuva e escoamento superficial e o transporte dessas partículas pelo escoamento superficial. O modelo opera com 12 funções referentes as fases da água e de sedimento, as quais necessitam de 19 parâmetros de entrada (MORGAN, 2005).

Assim como a USLE o MMF não pode ser utilizado para estimar a perda de solo de um único evento de chuva ou por erosão em ravinas e embora se esforce para manter a simplicidade da USLE e da RUSLE, alguns de seus parâmetros de entrada são difíceis de determinar, como por exemplo a profundidade de enraizamento da camada superficial do solo (MORGAN, 2001). Existem três versões do modelo Morgan Morgan-Finney (MMF). A primeira versão foi desenvolvida por Morgan, Morgan e Finney em 1984 para aplicação em escala de parcelas. Em 2001, Morgan revisou o MMF incluindo o encaminhamento para aplicação na escala de bacia e mudou a maneira como a desagregação de partículas do solo devido ao impacto gota de chuva e escoamento superficial é simulado. A versão revisada mostrou uma melhoria no desempenho do modelo quando comparada ao modelo original (MORGAN, 2001) e foi aplicada em trabalhos como Fernandez et al. (2010), Vieira et al. (2014), e Tan et al. (2018). Outra modificação foi feita por Morgan e Duzant em 2008, na qual o efeito da vegetação foi inserido e os processos deposicionais foram considerados. No entanto, a modificação de Morgan e Duzant (2008) adiciona vários parâmetros de entrada ao modelo, com melhorias de desempenho aparentemente pequenas (LUGER et al., 2018).

Maiores informações podem ser encontradas em Morgan (2005).

3.6.2 Modelos de transporte de sedimentos

Os modelos de transporte de sedimentos em rios normalmente são divididos em duas partes, uma fase líquida e outra sólida, e podem adotar formulações acopladas, que computam ao mesmo tempo escoamento e os sedimentos, ou desacopladas, sem considerar a influência do transporte de sedimentos e possíveis modificações de fundo no campo de escoamento (BUARQUE, 2015). As formulações desacopladas são mais utilizadas devido à diferença nas escalas de tempo do escoamento e do transporte de sedimento em relação as formulações acopladas, que apesar de serem fisicamente plausíveis são consideradas mais complexas (WU, 2008). Normalmente em rios dáse preferência para modelos unidimensionais já que o escoamento acontece predominantemente de forma longitudinal

Para representar a fase líquida podem ser utilizados vários modelos, dos mais simples de onda cinemática até modelos dinâmicos completos (LAI, 2005). Já para a representação das características hidráulicos do escoamento em canais de fundo móvel e dos processos nos rios associados a sedimentos, como deposição,

ressuspensão, erosão de margens, entre outras, pode ser realizada por modelos hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos (PAPANICOLAOU et al., 2008).

Para representar as variações que ocorrem no escoamento são utilizadas equações de Saint Venant, porém, elas não são suficientes para demonstrar possíveis mudanças no tempo e no espaço que podem acontecer no leito de rios de fundo móvel, de forma que em soluções desacopladas, as equações da fase líquida são resolvidas em hipótese de leito fixo, onde os valores das variáveis da seção são constantes em cada passo de tempo (WU, 2008).

Posteriormente à solução da fase líquida, a equação da continuidade de sedimentos é aplicada a fim de determinar o volume de erosão ou deposição, além de determinar uma nova configuração de seção (BUARQUE, 2015). A equação da continuidade de sedimentos (simplificada) na condição de equilíbrio é chamada de equação de Exner e sua solução é realizada utilizando uma formulação para capacidade de transporte do escoamento, que determina o volume erodido ou depositado, e pode ser aplicada para diferentes classes de tamanhos de partículas. A capacidade de transporte representa o máximo volume de sedimentos que pode ser transportado pelo escoamento, e existem inúmeras equações para realizar esta representação (BUARQUE, 2015).

Apesar da abordagem de Exner ser útil para análise de sedimentos não-coesivos, para sedimentos mais finos em rios de alta concentração de sedimentos em suspensão, faz-se importante considerar a difusão longitudinal dos mesmos, sendo realizados através da equação de difusão-advecção (SILVA e WILSON, 2005).

3.6.2.1 HEC-RAS

O HEC-RAS é um modelo hidrodinâmico que possibilita a realização a simulação do escoamento em regime hidráulico permanente, em regime não permanente, para o escoamento unidimensional e bidimensional, e em regime quase não permanente e completamente não permanente do transporte de sedimentos (USACE, 2016).

Por meio das equações completas de Saint Venant, o modelo unidimensional simula a propagação do escoamento no canal em regime não permanente podendo ser resolvidas por um esquema implícito de diferenças finitas e resolvidas numericamente usando o método de Newton-Raphson (USACE, 2016).

Em relação ao módulo de sedimentos, o modelo permite a realização de simulações de transporte de sedimentos de leito móvel em trechos de rios, considerando, em longo período, a erosão e deposição dos sedimentos (USACE, 2016). Para o cálculo do transporte de sedimentos, a versão 5.0.3 desse modelo possui diversas configurações, sendo possível considerar uma camada fixa de sedimentos em seções transversais de interesse, inserir uma concentração de sedimentos em uma seção de montante ou calcular com base nas características do canal e calcular a capacidade de transporte do escoamento e as velocidades de queda das partículas por diferentes formulações. A propagação dos sedimentos de leito no canal é feita utilizando a equação de Exner e a equação completa de Advecção-Difusão é utilizada para a propagação dos sedimentos em suspensão.

Maiores informações podem ser encontradas em USACE (2016).

3.6.3 Modelos integrados de erosão e transporte de sedimentos

Diversos modelos integram um módulo de geração de sedimentos nas vertentes da bacia e um módulo de transporte dos sedimentos gerados nos trechos de rio. Essa ligação entre os módulos permite aos modelos distribuídos uma visão mais ampla e integrada dos processos que ocorrem nas grandes bacias, podendo avaliar a variação temporal do fluxo de sedimentos. Em geral, os modelos que integram os módulos de geração e transporte de sedimentos também possuem acoplado à sua estrutura um modelo hidrológico (BUARQUE, 2015), como é o caso dos modelos LASCAM (SIVAPALAN et al., 1996; VINEY e SIVAPALAN, 1999), SWAT (ARNOLD et al., 1998), SedNET (PROSSER et al., 2001), WASA-SED (MUELLER et al., 2010), MGB-SED (BUARQUE, 2015), entre outros.

A seguir são apresentadas, resumidamente, as características de alguns modelos integrados de erosão e transporte de sedimentos. Por último, será apresentado mais detalhadamente o modelo MGB-SED, que será utilizado no presente trabalho.

3.6.3.1 Agricultural Non-Point Source model (AGNPS)

O AGNPS é um modelo de poluição difusa, distribuído, baseado em eventos, que foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos EUA, em cooperação com a Agência de Controle de Poluição Minnesota e o Serviço de Conservação do Solo (SCS) nos EUA (YOUNG et al., 1989) para simular o escoamento superficial, sedimentos e o transporte e de nutrientes em bacias hidrográficas, de pequenas a maiores com mais de 20.000 hectares. O modelo divide a bacia em células quadradas distribuídas uniformemente sobre a bacia.

Seus componentes básicos são: hidrologia, erosão, transporte de sedimentos, transporte de nitrogênio e fósforo, e demanda química de oxigênio. Alguns componentes são empíricos e outros de base física.

O escoamento superficial é simulado utilizando o método do número da curva do SCS, e a erosão e transporte de sedimentos é baseado na estimativa da erosão pela USLE ou pela RUSLE (MERRITT et al., 2003). O solo erodido é subdividido em cinco classes de tamanho: argila, silte, agregados pequenos, agregados grandes e areia (AKSOY e KAVVAS, 2005).

A execução do modelo funciona em três etapas. Na primeira etapa são realizados os cálculos iniciais, onde são estimadas a erosão de montante, o escoamento superficial e poluentes solúveis que seguem para cada célula do modelo. O cálculo do volume do escoamento superficial que deixa uma célula e a produção de sedimentos gerada na célula são realizados no estágio dois. No terceiro estágio é realizada a propagação dos sedimentos e nutrientes calculados para o restante das células da bacia. (MERRITT et al., 2003).

Entre as limitações do modelo tem-se os maiores requisitos de dados e complexidade computacional de AGNPS em comparação com modelos empíricos (MERRITT et al., 2003).

Maiores informações podem ser encontradas em Young et al. (1989) e Merrit et al. (2003).

3.6.3.2 Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS)

ANSWERS (BEASLEY et al., 1980) é um modelo determinístico, de base física, distribuído, desenvolvido para simular o comportamento hidrológico e a produção de sedimentos em bacias hidrográficas com área em torno de 100km² (BEASLEY e HUGGINS, 1982). A versão do modelo original concentrou-se na simulação de eventos, no entanto, as atualizações do modelo mudaram para um modelo de simulação contínua, podendo gerar resultados diários (por exemplo, ANSWERS 2000, DILLAHA et al., 1998) (MERRIT et al., 2003).

De acordo com Ahmadi et al. (2006), os conceitos hidrológicos por trás do modelo foram originalmente desenvolvidos por Huggins e Monke (1966) para estimar a taxa de escoamento em uma bacia hidrográfica, considerando o processo de interceptação, infiltração e armazenamento na superfície. Posteriormente, o modelo foi expandido incluindo os processos de erosão e o transporte de sedimentos por Beasley et al. (1980).

O modelo considera a erosão hídrica, devido aos processos de desagregação do solo pelas gotas de chuva e pelo escoamento superficial (erosão laminar). O modelo divide uma bacia hidrográfica em pequenos elementos independentes, e para cada um dos elementos, o escoamento e os processos erosivos são tratados como funções independentes relacionadas aos seus parâmetros respectivos (hidrológicos e de erosão) (MERRIT et al., 2003).

O modelo utiliza quatro principais categorias de dados de relevo: tipo de solo, uso do solo, topografia e descrições dos canais, sendo que para cada categoria são necessários uma grande quantidade de parâmetros. Com isso, a uma limitação da aplicabilidade do modelo devido aos grandes requisitos de dados de entrada espaciais e temporais do modelo (MERRIT et al., 2003).

Maiores informações podem ser encontradas em Beasley et al. (1980) e Merrit et al. (2003).

3.6.3.3 European Soil Erosion Model (EUROSEM)

O EUROSEM (MORGAN et al., 1998) é um modelo dinâmico, de base física, projetado para simular a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos sobre a superfície considerando os processos de erosão em sulcos e entressulcos (AKSOY e KAVVAS, 2005). O modelo foi projetado para ser aplicado a eventos individuais de chuva e em escalas espaciais que variam de pequenas áreas de campo a pequenas bacias hidrográficas. Ele foi criado especialmente para prever a perda de solo devido a eventos que contribuem com a maior parte da perda anual de solo e, portanto, têm períodos de retorno de seis meses ou mais (MATI et al., 2016).

O modelo possui uma estrutura modular que simula a erosão relacionando-a com a propagação de escoamento superficial e sedimentos baseada no modelo Kineros, onde escoamento superficial e sedimentos são propagados de acordo com as características do canal, como a declividade. O modelo fornece informações sobre escoamento total, perda total de solo, hidrograma e gráfico de sedimentos para o período simulado (AKSOY e KAVVAS, 2005).

Atualmente, o EUROSEM não é capaz de simular a erosão por voçorocas efêmeras (MORGAN et al., 1998). Um dos problemas associados a utilização do modelo é o elevado número de parâmetros e variáveis de entrada exigidas, com um número superior a 30 parâmetros para cada elemento espacial a ser modelado (DALBIANCO, 2013).

Maiores informações podem ser encontradas em Morgan et al. (1998) e Aksoy e Kavvas, (2005).

3.6.3.4 Universidade The Griffith University Erosion System Template (GUEST)

GUEST (HAIRSINE e ROSE, 1992A, 1992B; ROSE et al., 1983) é um modelo baseado em processos desenvolvido para identificar variações temporais nas concentrações de sedimentos em eventos de erosão (MISRA e ROSE, 1996).

O modelo relaciona as taxas medidas de escoamento e precipitação com as características do solo e a geometria da área de declive uniforme à concentração de sedimentos erodidos (MISRA e ROSE, 1996). Os algoritmos que descrevem os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos na bacia são equações de base física que simulam o fluxo de sedimentos no estado estacionário. Esses algoritmos lidam especificamente com a dinâmica dos sedimentos da superfície da bacia. Os processos de erosão considerados no GUEST são os causados pelo impacto das chuvas e pela tensão de cisalhamento exercida no solo pelo escoamento superficial (CIESIOLKA et al., 1995).

O GUEST é um modelo complexo e, consequentemente, necessita de uma grande quantidade de dados de entrada. Por exemplo, há necessidade de informações detalhadas sobre a frequência e a geometria dos sulcos, o que requer um levantamento detalhado da área de estudo antes da modelagem, o que dificulta a sua aplicação. Por este motivo, o modelo não é adequado para uso em grandes bacias hidrográficas (MERRIT et al., 2003).

Maiores informações podem ser encontradas em Misra e Rose (1996).

3.6.3.5 Sediment Network Model (SEDNET)

O modelo SEDNET (PROSSER et al., 2001) é um modelo conceitual-empírico desenvolvido para estimar a erosão, transporte e a deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. O SedNet foi desenvolvido como uma ferramenta para abordar

questões de gestão da terra e da água em bacias hidrográficas de grande escala. Dentre as principais saídas se encontram a média anual de sedimentos em suspensão, a altura do acúmulo de sedimento no leito do rio e a quantidade de sedimento erodido das encostas, das margens e do próprio rio (MERRIT et al., 2003).

A erosão das encostas é estimada usando a USLE e sua associação a uma taxa de transferência de sedimentos (SDR) é aplicada para obter o aporte de sedimentos nos trechos conectados a sub-bacias. A erosão de leito e a deposição no canal são calculadas através da equação de capacidade de Yang (1973). A erosão em voçorocas é calculada utilizando informações de aerofotogrametria da área de estudo com um modelo empírico desenvolvido por Hughes et al., (2001). Já a erosão das margens no canal é calculada a partir de uma relação empírica entre a vazão de calha cheia e a proporção do tamanho da margem sem vegetação ripária nativa para cada trecho de rio (MERRIT et al., 2003).

O transporte e a deposição de sedimentos em suspensão e a carga de fundo são modelados em submodelos, separadamente. A carga de fundo é propagada no submodelo de capacidade de transporte do sedimento. Os sedimentos em suspensão são removidos do escoamento superficial pela deposição em reservatórios e nas planícies de inundação, sendo cada um representado por um submodelo e os que não são depositados são propagados para jusante (NEWHAM et al., 2003; FAGUNDES, 2018).

Como limitação do modelo tem-se a dificuldade de obter alguns dados de entrada (MERRIT et al., 2003).

Maiores informações podem ser encontradas em Merrit et al. (2003).

3.6.3.6 Water Availability in Semi-Arid environments (WASA-SED)

O WASA-SED é um modelo semidistruibuído, baseado em processo (GÜNTNER, 2002; GÜNTNER; BRONSTERT, 2004; MAMEDE, 2008; MUELLER et al., 2008) e foi desenvolvido para simular a produção de água e de sedimentos associada aos efeitos

das mudanças no uso da terra. O modelo é executado com passo de tempo diário e pode ser usado de forma contínua, para eventos de chuva individuais e para simulações de longo prazo.

Ele foi elaborado para aplicação em grandes escalas, dividindo (discretizando) a bacia em cinco níveis, desde sub-bacias até porções de áreas denominadas SVC (Componente Solo-Vegetação) definidas a partir das composições de solo e vegetação, declividades e comprimentos do terreno (GUNTNER, 2002; FAGUNDES, 2018).

O modelo possui dois componentes, sendo um hidrológico/hidráulico e outro de sedimentos. O componente hidrológico/hidráulico representa processos como: interceptação, evapotranspiração, infiltração, balanço hídrico do solo, vazão de águas subterrâneas e propagação no rio pelo método Muskingum-Cunge. O componente de sedimentos permite estimar a perda de solo na encosta considerando uma das quatro abordagens de modelagem: USLE, Onstad-Forster, MUSLE ou MUST (MUELLER et al., 2010; BRONSTERT et al., 2014; FAGUNDES, 2018).

Maiores informações podem ser encontradas em Mueller et al. (2008).

3.6.3.7 SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT)

O SWAT é um modelo semidistruibuído de base física-conceitual desenvolvido para estimar o escoamento, erosão, produção de sedimentos e transporte de nutrientes em bacias hidrográficas sob diferentes práticas de manejo da terra (ARNOLD et al., 1998). Ele é um modelo de simulação contínua, que opera em um passo de tempo diário e divide a bacia hidrográfica em sub-bacias, as quais são ainda divididas em unidades menores denominadas Unidades de Resposta Hidrológica (URH), que são áreas com comportamento hidrológico similares, definidas comumente em relação ao uso do solo, tipo de solo e topografia (ARNOLD et al., 2012).

Dentre os processos hidrológicos simulados pelo SWAT tem-se: escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração, escoamento lateral, drenagem,

redistribuição da água de acordo com os perfis do solo, retorno de fluxo, recarga de corpos hídricos, poços e cargas de afluentes (ARNOLD et al., 2012; BRITO, 2015).

A produção de sedimentos é estimada para cada sub-bacia com a Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE (WILLIAMS, 1975). O transporte de sedimentos na rede de drenagem acontece em razão dos processos de deposição e degradação, e seu cálculo é realizado por meio da equação simplificada sugerida por Bagnold onde a quantidade máxima de sedimentos que pode ser transportada por um determinado trecho de rio é função da velocidade de pico do escoamento no trecho (WILLIAMS, 1975).

Maiores informações podem ser encontradas em Arnold et al. (1998).

3.6.3.8 Large Scale Catchement (LASCAM)

O LASCAM foi originalmente desenvolvido para avaliar os efeitos das mudanças climáticas e de uso do solo em bacias hidrográficas. Posteriormente foi acoplado ao modelo um algoritmo conceitual contínuo de geração e transporte de sedimentos (VINEY e SIVAPALAN, 1999), com intervalo de tempo diário e, mais tarde, um modelo (VINEY et al., 2000) de mobilização e transporte de nutrientes (AKSOY e KAVVAS, 2005). O modelo é do tipo distribuído, no qual uma bacia é dividida em uma série de sub-bacias, e é capaz de realizar estimativas de longo prazo das cargas diárias de água, sal, sedimentos e nutrientes (MERRIT et al, 2003).

Viney e Sivapalan (1999) incorporaram uma conceituação da USLE para estimar a geração de sedimentos. O sedimento gerado nas encostas está relacionado ao escoamento superficial diário estimado e ao fator de cultura da USLE (C), sendo este último relacionado ao índice de área foliar (IAF) da cobertura vegetal. Os demais parâmetros do USLE são incluídos em um único parâmetro otimizável, considerado uniforme em toda a bacia hidrográfica (VINEY e SIVAPALAN, 1999).

O transporte, a erosão do leito e a deposição no canal são representados por um algoritmo que considera que esses processos são governados pela capacidade de

transporte (CT) do escoamento, a qual é função da potência do escoamento. O modelo possui seis parâmetros globais a serem calibrados, no entanto estes parâmetros são os mesmos para toda a área de estudo, sem possibilidade de recalibração para cada sub-bacia (VINEY e SIVAPALAN, 1999). As vantagens e desvantagens do modelo, observadas por Pandey et al. (2016) são, respectivamente, o baixo número de parâmetros para calibração e a baixa qualidade na predição de sedimentos e nutrientes durante essa etapa.

Maiores informações sobre o modelo LASCAM podem ser encontradas em Viney et al. (2000) e Zammit et al., (2003).

3.6.3.9 MGB-SED

O O Modelo de Grandes Bacias Sedimentos (MGB-SED) (BUARQUE, 2015; FAGUNDES, 2018; FÖEGER, 2019) é um modelo de geração e transporte de sedimentos acoplado ao modelo hidrológico Modelo de Grandes Bacias (MGB) (COLLISCHONN, 2001; PAIVA, 2009; PONTES 2016). Portanto, o MGB-SED se divide em dois módulos, um hidrológico e outro de sedimentos.

O módulo hidrológico utiliza, como dados de entrada, diversas informações relacionadas ao ciclo hidrológico e às características físicas da bacia em estudo, assim como grande parte dos modelos hidrológicos distribuídos (TUCCI, 2005). Nele o escoamento superficial é gerado seguindo a abordagem Dunneana, e a evapotranspiração é calculada pela equação de Penman-Monteith. A propagação do escoamento na rede de drenagem pode ser feita por dois métodos: de Muskingum-Cunge e Inercial (PONTES, 2016).

Para ser aplicado, o módulo passa por uma etapa de pré-processamento onde são determinadas as características físicas e espaciais da bacia hidrográfica através de ferramenta SIG, como a geração da rede de drenagem, delimitação das minibacias e definição das Unidades de Resposta Hidrológica (URH). As minibacias são pequenas áreas de drenagem, cada uma com um trecho de rio correspondente que representam as características topográficas e topológicas da bacia hidrográfica, as quais, por sua

vez, são ainda subdivididas em URH, que são áreas de comportamento hidrológico similar definidas pela combinação de mapas de cobertura vegetal e tipos de solo (FAN et al., 2015), onde são simulados os processos hidrológicos verticais, com os volumes gerados sendo somados e propagados pela rede de drenagem.

O módulo de sedimentos do MGB-SED é dividido em três componentes principais: bacia, rio e planícies de inundação (BUARQUE, 2015). Na componente bacia é realizada a estimativa da produção de sedimentos nas minibacias, para cada URH, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo Modificada - MUSLE (Williams, 1975) e o aporte das cargas de sedimentos geradas para a rede de drenagem. Os parâmetros da MUSLE são calculados pelo modelo, utilizando formulações específicas e procedimentos em SIG, ou definidos como dado de entrada. O volume de escoamento superficial e a taxa de pico do escoamento é fornecido pelo módulo hidrológico do modelo (BUARQUE, 2015). O aporte de sedimentos para os cursos d'água é feito para cada fração do solo considerada (silte, argila e areia), por meio de um reservatório linear simples. A função do reservatório é retardar o volume de sedimentos que chega ao curso d'água, uma vez que nem todo o volume de sedimentos gerado chega simultaneamente ao rio (BUARQUE, 2015).

A componente rio é responsável pela propagação na rede de drenagem das cargas de sedimentos aportadas das minibacias. O transporte no rio é separado em transporte de material em suspensão (partículas de silte e argila), que é propagado com uma equação de transporte do tipo difusão-advecção, para cada trecho do rio, e em transporte de cargas de fundo (areia) realizado por meio da equação da continuidade de sedimentos de Exner, permitindo uma representação da deposição ou da erosão de sedimentos no leito do rio. A erosão e a deposição de sedimentos no canal são calculadas em função de uma capacidade de transporte de sedimentos. A capacidade de transporte pode ser estimada por meio de equações como as de Yang, Rottner, Schoklitsch, Ackers e White, Engelund e Hansen e Meyer-Peter e Muller (FAGUNDES, 2018).

A componente planície permite a troca de sedimentos finos (silte e argila) entre o rio e sua correspondente planície de inundação (quando houver), dentro da qual pode ocorrer uma deposição de material fino. No entanto, esse componente só está ativo em trechos de rios onde a propagação de vazões ocorre pelo modelo inercial (FÖEGER, 2019).

Entre as vantagens de utilizar o modelo, tem-se a sua interação com o ambiente SIG, e o fato do módulo hidrológico do MGB-SED possuir poucos parâmetros de calibração e necessitar de poucos dados (FAGUNDES, 2018). Dentre as limitações, tem-se que o modelo só representa os processos de erosão e deposição no canal dos sedimentos que correspondem a areia (JARDIM et al., 2017, FAGUNDES, 2018).

O modelo MGB-SED foi selecionado para este trabalho devido as suas características, como a possibilidade de aplicação em grandes bacias (>1000 km²), utilização de passo de tempo diário, interação com o ambiente SIG, utilização de uma metodologia simplificada para estimativa da distribuição espacial e temporal dos sedimentos e necessidade de poucos parâmetros de calibração. Além disso, estudos tem utilizado o modelo MGB-SED com bons resultados, como os estudos de Buarque (2015), Borges (2017), Föeger et al. (2018), Fagundes (2018), Quintela et al. (2018), Rossoni et al. (2018), Fagundes et al. (2020), Rossini e Fan (2019) e Föeger et al. (2019). Mais detalhes sobre o MGB-SED podem ser encontrados no anexo A e em Buarque (2015), Fagundes (2018) e Föeger (2019).

3.6.4 Estudos com comparações de equações/modelos de perda de solo

Há alguns anos vêm sendo realizados estudos analisando e comparando diferentes equações e modelos capazes de estimar/simular a perda de solo e produção de sedimentos em bacias hidrográficas. A maioria dos artigos utilizam parcelas experimentais ou bacias hidrográficas pequenas (até 5 km²) (PAIVA e PAIVA, 2001) ou intermediárias (entre 5 e 1000 km²), mas também podemos observar estudo em bacias de grande escala.

Também é possível observar que os trabalhos geralmente fazem essa análise com simulações baseadas em eventos, ou de uma forma mais ampla, buscando obter valores médios anuais de longo período e não valores mensais ou diários que permitam avaliar a dinâmica temporal dos fluxos de sedimentos na bacia. Não foi encontrado nenhum trabalho que fizesse uma análise comparando equações de perda de solo para estimar a perda de solo numa bacia de forma contínua. Os estudos com modelos contínuos são importantes pois permitem uma avaliação da evolução temporal dos processos e da dinâmica dos sedimentos nas bacias hidrográficas. Em geral, quanto menor o intervalo de tempo maior será a precisão dos resultados pois consideram os efeitos provocados por uma série de eventos consecutivo.

Como exemplos de trabalhos que utilizam parcelas experimentais ou bacias hidrográficas pequenas aplicados a eventos de chuva temos Khaleghpanah et al. (2016) que avaliaram os resultados da simulação do modelo EUROSEM e da equação RUSLE2 para prever a perda de solo em duas sub-bacias da bacia hidrográfica do Khamesan, localizada no oeste do Irã. Para a realização do trabalho foram utilizadas 18 parcelas experimentais em seis encostas de pastagens naturais e o modelo foi aplicado para 24 eventos de chuva. Já Kinnell (2017), comparou a habilidade do modelo WEPP, com a habilidade das equações USLE-M e RUSLE2 de estimar perda de solo para eventos em parcelas de pousio nu que erodiram sob chuva natural. Kinnell (2018) aplicou o modelo WEPP e a equação USLE-M para modelar a perda de solo de eventos em 6 parcelas com gradientes diferentes produzidas a partir de encostas íngremes, na Estação de Pesquisa Ansai de Conservação de Solo e Água da Academia Chinesa de sob chuva natural durante 1985-1992.

Um exemplo de aplicação em pequenas bacias e buscando obter valores médios anuais de longo período foi o trabalho de Cecílio et al. (2009), que avaliaram a estimativa de perda de solo feita pelo modelo WEPP e a equação RUSLE em uma bacia hidrográfica experimental com uma área de 0,04 km², situada no distrito de Palmital, município de Viçosa, MG.

Trabalhos em bacias com tamanhos intermediários (entre 5 e 1000 km²) e baseados em eventos foram realizados por Kinnell (2000), que desenvolveu um sistema de software que substitui a equação da USLE pela USLE-M no modelo Agricultural Non Source Pollution model (AGNPS) V5.00. Como a USLE não foi projetada para prever bem a erosão de eventos, em teoria, a USLE-M fornece um mecanismo para superar

esses problemas. O estudo ilustra o impacto do uso da USLE-M para modelar a erosão celular no AGNPS em uma bacia de Back Creek de 23 km² localizada na Austrália. Já para bacias intermediárias e buscando obter valores médios anuais de longo período podemos citar Nugraheni et al. (2013), que aplicaram a MUSLE, USLE e a RUSLE para estimar a taxa anual de erosão do solo a bacia hidrográfica de Keduang, que possui uma área de 420,89 km² e faz parte da bacia hidrográfica de Bengawan.

Já para grandes bacias, Mondal et al. (2016) estimaram a capacidade de predição da RUSLE, USLE e MMF, usando sensoriamento remoto e tecnologia GIS para parte da bacia do rio Narmada, localizada na Índia, que possui 20.558 km² de área. Os resultados dessa aplicação buscaram obter valores médios anuais de longo período.

O trabalho de Tan et al. (2018) englobou 454 bacias hidrográficas, com uma faixa de tamanho de 0,1 a 200 km², localizadas nos Estados Unidos, Canadá, Porto Rico, Ilhas Virgens Americanas e Guam, durante o período de observação de 1950 a 2011. Os autores selecionaram oito modelos/equações, sendo eles: Projeto de Previsão de Erosão da Água (WEPP), a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), o modelo Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS), modelo da Griffith University Erosion System Template (GUEST), o modelo de erosão do solo Morgan-Morgan-Finney (Morgan), o modelo de Patil, o modelo de Pelletier e o modelo de simulação de erosão do solo em tempo real com base em redes irregulares triangulares em tempo real (tRIBS-Erosão) e inicialmente avaliaram e compararam o desempenho de oito modelos de produção de sedimentos. (SY) comparados com à média anual de produção de sedimentos.

Os autores concluíram que o modelo Morgan revisado apresentou o melhor desempenho em relação a variabilidade espacial ao comparar a média anual de produção de sedimentos simuladas com os dados observados, podendo explicar mais de 52% das variações espaciais nas bacias usadas para validação do modelo. Em seguida, Tan et al. (2018) identificaram pontos para serem melhorados no modelo Morgan.

4 METODOLOGIA

Este estudo utilizou o MGB-SED, proposto por Buarque (2015) e adaptado por Fagundes (2018) e Föeger (2019). A escolha do modelo foi devido às suas características específicas para aplicação em grandes bacias, utilização de passo de tempo diário, distribuído, interação com um ambiente SIG, além da necessidade de poucos dados para o seu uso e de já ter sido aplicado em diversas bacias como em Buarque (2015), Borges (2017), Föeger et al. (2018), Quintela et al. (2018), Rossoni et al. (2018), Fagundes et al. (2018) e Fagundes et al. (2020).

A Figura 1 apresenta um fluxograma que resume as etapas metodológicas desse trabalho, sendo iniciada com a aquisição de dados, seguida pela preparação e aplicação (calibração e validação) do módulo hidrológico do modelo MGB-SED. Posteriormente foi realizada a adaptação do módulo de sedimentos, sendo incluídas ao modelo as equações da RUSLE2 e USLE-M, além dos cálculos dos seus parâmetros, como a erosividade. Depois foi realizada a preparação do módulo de sedimentos e a simulação do modelo com as três equações sem realizar calibração. Após a simulação do modelo sem calibração, foi realizada a calibração e validação do módulo de sedimentos com cada uma das equações utilizadas no trabalho (MUSLE, USLE-M e RUSLE2). Por fim, foi realizada uma comparação entre os resultados encontrados.

Figura 1 - Fluxograma resumo da metodologia deste estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho foi a bacia hidrográfica do rio Doce (Figura 2) que está localizada na região Sudeste do Brasil, integrando a região hidrográfica do Atlântico Sudeste. Apresenta uma extensão territorial de aproximadamente 86.715 km², dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e 14% ao Estado do Espírito Santo (PIRH, 2010). A bacia hidrográfica envolve 225 municípios, sendo 200 em Minas Gerais e 25 no Espírito Santo, com uma população residente de aproximadamente 3,6 milhões de habitantes (IBGE, 2010).





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O rio Doce é formado pelos rios Piranga e Carmo, cujas nascentes estão situadas nas encostas das serras da Mantiqueira e Espinhaço, e deságua no mar em Regência no município de Linhares, Espírito Santo. Os principais afluentes do rio Doce pela margem esquerda são os rios do Carmo, Piracicaba, Santo Antônio, Corrente Grande e Suaçuí Grande, em Minas Gerais; São José e Pancas no Espírito Santo. Já pela margem direita são os rios Casca, Matipó, Caratinga e Manhuaçu em Minas Gerais; Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Rio Doce no Espírito Santo. (PINTO et al., 2015). O principal curso d'água da bacia é o rio Doce, que percorre 888 km desde a nascente do rio Xopotó até a sua foz que ocorre no Oceano Atlântico, localizada no município de Linhares (ANA, 2015).

A bacia pode ser dividida em três unidades regionais, sendo elas o Alto, Médio e Baixo Rio Doce. O Alto Rio Doce está localizado a montante da confluência dos rios Doce e Piracicaba, o Médio Rio Doce possui seus limites a jusante da confluência dos rios Doce e Piracicaba até a divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, já o Baixo Rio Doce abrange a jusante dessa divisa até sua foz, em Regência (CBH-DOCE, 2006).

4.1.1 Características da bacia

A região apresenta segundo a classificação de Köppen três tipos climáticos: tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos, presente nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do rio Doce; tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes, presente nas nascentes de seus afluentes; e clima quente com chuvas de verão presente nos trechos médio e baixo do rio Doce e de seus afluentes (PINTO et al., 2015).

O regime pluviométrico na bacia é caracterizado por dois períodos bem distintos, um período chuvoso que se estende de outubro a março com uma precipitação total variando de 800 a 1.300 mm, e um período seco que se estende de abril a setembro, com precipitação variando de 150 a 250 mm (PIRH, 2010). Na bacia, a precipitação média anual varia espacialmente de 1.500 mm, nas nascentes localizadas nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, a 900 mm, na região da cidade de Aimorés-MG, voltando a crescer em direção ao litoral (PINTO et al., 2015).

Em relação a vegetação, a área da bacia era naturalmente coberta por Mata Atlântica, mas a intensa devastação reduziu o revestimento florístico, cujo remanescente está restrito às áreas mais declivosas do terreno (NETO et al., 2009). Segundo a ANA (2015), em 2013 foi realizado um mapeamento de uso e cobertura do solo onde a distribuição se dava da seguinte forma: a vegetação nativa recobre 27% do território,

sendo os outros 73% de usos antrópicos, onde 59% correspondente a pastagem, 5% são ocupados por áreas agrícolas e 4% por áreas reflorestadas. Os solos predominantes na bacia são Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelhos, perfazendo 77,2% da área (PIRH, 2010). Também se fazem presentes outros tipos de Latossolos e Argissolos, Neossolos Litólicos, Gleissolos e Cambissolos. Os Latossolos e Argissolos são caracterizados como solos profundos, bem drenados, enquanto os demais são solos rasos, com alto potencial de geração de escoamento superficial (EMBRAPA, 2006).

No que concerne à condição de fragilidade da bacia do rio Doce no tocante à susceptibilidade a erosão, cerca de 58% da sua área se encontra na categoria de susceptibilidade forte e 30% na categoria de susceptibilidade média, conforme classificação definida no PIRH (2010). Essa alta susceptibilidade a erosão está associada a diversos fatores, como: a alta degradação das pastagens na região da bacia, constituídas de espécies com baixa cobertura do solo e submetidas a intenso pisoteio e compactação formando volumes expressivos de sedimentos que são carreados aos cursos de água; predomínio dos solos latossolos e argissolos, que são altamente intemperizados e bastante suscetíveis à erosão e tudo isso associados ao relevo montanhoso, e quando cultivados inadequadamente, geram uma carga elevada de sedimentos carreados aos cursos de água (ANA, 2015).

Alterações de algumas características da bacia do rio Doce ocorreram após o rompimento da barragem de rejeitos minerais de Fundão, no dia 05 de novembro de 2015, situada em Mariana-MG, que resultou em um desastre ambiental de grande magnitude. Entre os impactos causados têm-se: destruição de áreas de preservação permanente nos trechos de cabeceira; assoreamento dos corpos hídricos; alterações morfológicas dos corpos hídricos atingidos; mortandade de peixes e de outros organismos aquáticos e perturbações do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (ANA, 2015).

4.1.2 Dinâmica de sedimentos na bacia

A bacia do rio Doce produz uma grande quantidade de sedimentos (LIMA et al., 2005). Lima et al. (2005) observaram que na bacia do rio Doce, a estação sedimentométrica localizada em Colatina-ES apresenta a maior concentração média de sedimentos em suspensão entre as grandes bacias hidrográficas brasileiras e, o fluxo de sedimentos em suspensão na foz do rio Doce só foi menor do que aquele detectado no rio Amazonas.

Fagundes (2018) comparou os dados encontrados por Lima et al. (2005) para a bacia do rio Doce com os dados encontrados por Guyot et al. (2005) para a bacia do rio Amazonas, observando que embora a vazão específica média do rio Amazonas ser quase 300% superior à do rio Doce, sua descarga sólida em suspensão específica média é apenas 10% superior. Isso permite notar a magnitude da quantidade de sedimentos produzida na bacia do rio Doce.

De acordo com EPE (2007), o alto rio Doce apresenta a mais elevada produção de sedimentos da bacia, o médio rio Doce configura-se em uma região com mais deposição de sedimentos e o baixo rio Doce apresenta uma menor produção de sedimentos na bacia, a qual se concentra em algumas áreas específicas. EPE (2007) também destaca que a região Santo Antônio – Suaçuí, que abrange a região norte da bacia do rio Doce, constituída pelas sub-bacias dos rios Santo Antônio e Corrente Grande, e as cabeceiras dos rios Suaçuí-Pequeno e Suaçuí-Grande apresenta elevada produção de sedimentos, com exceção da sub-bacia do Corrente Grande.

4.1.3 Motivação para a escolha da área

A escolha da bacia do rio Doce como estudo de caso deve-se a diversos fatores, como:

- Sua importância no território brasileiro, sendo o maior rio que deságua no Estado do Espirito Santo e um dos mais importantes do país (NETO et al., 2009);
- 2. A grande quantidade de sedimentos produzida na bacia (LIMA et al., 2005);
- Poucos estudos relacionados a dinâmica de sedimentos realizados na região (FAGUNDES, 2018; FAGUNDES, 2020);

- Ser considerada uma grande bacia hidrográfica passível para aplicação do modelo;
- 5. Ter uma quantidade de dados suficientes para aplicação do modelo.

4.2 DADOS UTILIZADOS

4.2.1 Dados hidroclimatológicos

Para a aplicação do modelo são necessários dados hidroclimatológicos de chuva, vazão e clima (temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento).

Dados diários de chuva e vazão usados foram obtidos do Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb, que pertence à base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Foram encontradas 445 estações pluviométricas na bacia, das quais apenas 201 continham dados disponíveis. Destas, 142 tinham dados no período de janeiro de 1970 a até o final de 2014 e foram pré-selecionadas. Considerando que o objetivo principal deste trabalho é avaliar o potencial de aplicação de equações de perda de solo para uso em modelagem distribuída de grandes bacias e que no ano de 2015 houve o rompimento da barragem de Mariana-MG, afetando diretamente o rio Doce, o maior rio da bacia do rio Doce, para efeitos de simulação, foram considerados apenas anos anteriores ao rompimento, a fim de que os resultados obtidos não fosse influenciados pela ocorrência do evento atípico.

Também foram pré-selecionadas, para o mesmo período, 75 estações fora da bacia, mas próximas dos seus limites. Para cada estação, foi realizada uma análise dos dados, verificando o número de dias com falha dentro de cada mês. Um mês sem falha foi considerado como aquele que contém no máximo 5 dias sem informações. Para uso na modelagem, foram selecionados os postos contendo ao menos 80% dos meses sem falhas no período. Desta forma, do total de 217 estações, foram selecionadas 101 (Figura 3) sendo 58 dentro da bacia e 43 fora da bacia.

Também foram identificadas 485 estações fluviométricas na bacia do rio Doce disponíveis na base de dados da ANA, das quais apenas 155 continham dados de vazão. Em seguida, essas 155 estações foram analisadas sob os critérios de possuir pelo menos 5 anos com dados no período de janeiro de 1970 a até o final de 2014. No total foram selecionadas 62 estações (Figura 4), listadas na Tabela 1, para o estudo de modelagem da bacia com o modelo MGB-SED para calibração e validação dos valores dos parâmetros do módulo hidrológico do modelo.



Figura 3 - Mapa de localização das estações pluviométricas selecionadas na Bacia do rio Doce.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Identificação	Nome da Estação	Código	Latitude	Longitude
1	Piranga	56028000	-20,69	-43,30
2	Bráz Pires	56055000	-20,84	-43,24
3	Senador Firmino	56065000	-20,91	-43,10
4	Porto Firme	56075000	-20,67	-43,09
5	Seriquite	56085000	-20,72	-42,92
6	Fazenda Varginha	56090000	-20,71	-43,00
7	Ponte Nova	56110005	-20,38	-42,90
8	Fazenda Paraíso	56240000	-20,39	-43,18
9	Acaica	56335001	-20,36	-43,14
10	Fazenda Ocidente	56337000	-20,27	-43,10
11	São Miguel do Anta	56385000	-20,70	-42,67
12	Rio Casca	56415000	-20,23	-42,65

Tabela 1 - Estações fluviométricas selecionadas na bacia do rio Doce, com dados diários no período de 1970 a 2014, para uso na modelagem hidrossedimentológica.

Identificação	Nome da Estação Códi		Latitude	Longitude
13	Fazenda Cachoeira D'antas	56425000	-19.99	-42.64
14	Matinó	56460000	-20 28	-42.33
15	Raul Soares	56484998	-20,10	-42,44
16	Abre Campo	56500000	-20.30	-42.48
17	Instituto Florestal Raul Soares	56510000	-20,10	-42.46
18	Cachoeira dos Óculos	56539000	-19.78	-42,48
19	Pingo D'água	56570000	-19 71	-42 45
20	Rio Piracicaba	56610000	-19.93	-43 17
21	Carrapato	56640000	-19.97	-43 46
22	Nova Fra IV	56659998	-19 77	-43 03
23	Mario de Carvalho	56696000	-19.52	-42 64
20	Belo Oriente	56719998	-19.33	-42.38
25	Conceição do Mato Dentro	56750000	-19.01	-43 45
26	Dom Joaquim	56765000	-18.96	-43 24
20	Ferros	56775000	-19.23	-43 02
28	Fazenda Barraca	56787000	-19.33	-43 07
29	Senhora do Porto	56800000	-18 89	-43.08
30	Naque Velho	56825000	-19 19	-42 42
31	Fazenda Corrente	56845000	-18 89	-42 71
32	Porto Santa Rita	56846000	-18 95	-42.36
33	Governador Valadares	56850000	-18.88	-41 95
34	São Pedro do Suacuí	56860000	-18 36	-42 60
35	Santa Maria do Suacuí	56870000	-18 20	-42,00
36	Vila Matias	56891900	-18 57	-41 92
37	Tumiritinga	56920000	-18.07	-41,52
38	Dom Cavati	56935000	-10,37	-41,04
39	Barra do Cujeté	56940002	-19.06	-41 53
40	Eazenda Vargem Alegre	56960005	-20 17	-41,96
40	Fazenda Bradanca	56976000	-20,17 -10 74	-41,30
42	Santo Antônio do Manhuacu	56978000	-10.68	-41,75
42	Dores de Manhumirim	56983000	-20 11	-41 73
40	Inanema	56988500	-19.80	-41,73
45	Mutum	56989001	-19.81	-41 44
46	Assarai	56989400	-19 59	-41 46
40	São Sebastião da Encruzilhada	56990000	-10.00	-41 16
48		56990990	-20.08	-41 12
40	Larania da Terra	56001500	-20,00	-41,12
4 9 50	Baixo Guandu	56992000	-19,50	-41,00
51	lusante Córrego da Piaba	56993551	-19,52	-40.73
52	Colatina	56004500	-10.53	-40,73
53	Colatina (Corpo de Bombeiros)	5600/510	-10.53	-40,03
54	Ponte do Pances	56005500	-10/2	-40,02
54	FUNCUU FANCAS Barra da São Cobriol	56008400	-13,42 -10 01	-40,09
55	ETA (São Ronto Minoroção)	56621000	-13,04	-40,00
50	LIHE Sá Carvalha	20031900	-20,00	-40,49 -10 RE
51	LIHE Dorto Estrolo	56220020	-10.10	-42,00
50		56946090	-10.02	- 4 2,00
09	UNE Dayuall	00040000	-19,02	- 4 ∠, I∠

Identificação	Nome da Estação	Código	Latitude	Longitude
60	Campanário	56851000	-18,24	-41,73
61	Inhapim	56928000	-19,55	-42,12
62	UHE Mascarenhas	56992400	-19,50	-40,92

Fonte: ANA (2020).

Figura 4 - Mapa de localização das 62 estações fluviométricas com dados diários, selecionadas para uso na modelagem na Bacia do rio Doce com o modelo MGB-SED.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os dados de clima utilizados foram referentes à temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento. Neste estudo foram consideradas as normais climatológicas destas variáveis provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET - normais climatológicas) e estão disponibilizados para todo o Brasil na base interna do MGB, conforme apresentado por Fan e Collischonn (2014). Foram escolhidas 9 estações para a modelagem, as quais estão apresentadas na Figura 5 e listadas na Tabela 2.





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Tabela 2 - Estações meteorológicas utilizadas na simulação

Nome da estação	Código	Longitude	Latitude
Belo Horizonte	00083587	-43,93	-19,93
Caparaó	00083639	-41,90	-20,52
Caratinga	00083592	-42,15	-19,80
Conceição do Mato de Dentro	00083589	-43,43	-19,02
Diamantina	00083538	-43,60	-18,25
Itamarandiba	00083488	-42,85	-17,85
Juiz de Fora	00083692	-43,35	-21,77
São Mateus	00083550	-39,85	-18,70
Vitória	00083648	-40,32	-20,32

Fonte: INMET (2019).

4.2.2 Dados de sedimentos

A ANA disponibiliza dados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) para os rios do território brasileiro, sendo realizadas, em média, quatro medições anuais por estação. Para a escolha das estações o critério de seleção adotado foi de que a estação possuísse ao menos 5 anos de medições no período adotado, de 1970 a 2014, totalizando 26 estações de monitoramento da ANA. Também foram utilizados dados no período de 1977 a 2014 da estação de Ouro Fino, que pertence à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), os quais possuem uma frequência de medição quase diária, totalizando 27 estações (Figura 6) listadas na Tabela 3.

Com os dados de concentração de sedimentos em suspensão e de vazão disponibilizados pela ANA e pela CEMIG são calculados os dados observados de descarga sólida utilizados neste trabalho.

É preciso considerar que o objetivo principal deste trabalho é avaliar o potencial de aplicação de equações de perda de solo para uso em modelagem distribuída de grandes bacias. Como o evento do rompimento da barragem de Mariana-MG aconteceu no ano de 2015, afetando diretamente o rio Doce, o maior rio da bacia do rio Doce, para efeitos de simulação, foram considerados apenas anos anteriores ao rompimento, a fim de que os resultados obtidos não fosse influenciados pela ocorrência do evento atípico.





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Identificação	Código	Nome estação	Latitude	Longitude
1	56075000	Porto Firme	-20,67	-43,09
2	56110005	Ponte Nova Jusante	-20,38	-42,90
3	56335001	Acaiaca Jusante	-20,36	-43,14
4	56415000	Rio Casca	-20,23	-42,65
5	56425000	Fazenda Cachoeira D'antas	-19,99	-42,67
6	56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	-19,78	-42,48
7	56696000	Mario de Carvalho	-19,52	-42,64
8	56775000	Ferros	-19,23	-43,02

9	56787000	Fazenda Barraca	-19,33	-43,07
10	56800000	Senhora do Porto	-18,89	-43,08
11	56825000	Naque Velho	-19,19	-42,42
12	56846000	Porto Santa Rita	-18,95	-42,36
13	56850000	Governador Valadares	-18,88	-41,95
14	56860000	São Pedro do Suaçuí	-18,36	-42,60
15	56891900	Vila Matias Montante	-18,57	-41,92
16	56915500	Jampruca	-18,46	-41,81
17	56920000	Tumiritinga	-18,97	-41,64
18	56935000	Dom Cavati	-19,37	-42,10
19	56948005	Resplendor - Jusante	-19,34	-41,25
20	56990000	São Sebastião da Encruzilhada	-19,49	-41,16
21	56990990	Afonso Claúdio Montante	-20,08	-41,12
22	56991500	Laranja da Terra	-19,9	-41,06
23	56992000	Baixo Guandu	-19,52	-41,01
24	56994500	Colatina	-19,53	-40,63
25	56995500	Ponte do Pancas	-19,42	-40,69
26	56998400	Barra de São Gabriel	-19,04	-40,53
27	CEMIG	Cemig	-19,19	-42,88

Fonte: ANA e CEMIG (2019).

4.2.3 Dados de qualidade da água

Geralmente os dados de CSS disponíveis em grandes bacias são escassos e não possuem séries contínuas, como é o caso dos dados da ANA. No entanto, dados observados com séries longas e contínuas são importantes para as etapas de calibração e validação dos parâmetros de um modelo.

Fagundes (2018) e Fagundes et al. (2020) mostraram que dados de qualidade da água, como turbidez e sólidos suspensos totais (SST), podem auxiliar na análise dos sedimentos em suspensão e na compreensão dos padrões de transporte de sedimentos na bacia, além de auxiliarem na calibração e validação dos parâmetros do modelo MGB-SED. Desta forma, além dos dados de CSS de estações sedimentométricas da ANA, neste estudo foram também considerados dados de turbidez e sólidos suspensos totais (SST) para auxílio na avaliação dos resultados do modelo, conforme proposto por Fagundes (2018). Esses dados também foram provenientes do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da ANA.

Foram selecionados dados de turbidez e SST para as mesmas 27 estações de monitoramento de CSS selecionadas (Tabela 3), que eram estações que possuíam

dados no período selecionado. As séries históricas de cada estação apresentam cerca de quatro medições anuais, e o período de dados selecionados foi de 1994 a 2014.

4.2.4 Dados topográficos e tipo e uso do solo

O MDE que foi utilizado para a discretização da bacia hidrográfica do rio Doce foi o do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponibilizado pelo Grupo Consultivo sobre Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR) no endereço eletrônico http://srtm.csi.cgiar.org/, com resolução espacial de 90 metros, apresentado na Figura 7. O MDE do SRTM foi obtido com base em um processo de interferometria de dados de radar obtidos por sensores a bordo da nave espacial Endeavour, e cobrem quase todo o globo (FARR et al., 2007).

O MDE de SRTM de 90m já foi utilizado em diversos trabalhos (ex: SIQUEIRA et al., 2016 e FAN et al., 2014), inclusive na bacia do rio Doce (TAN, 2015; FAGUNDES 2018; FAGUNDES et al., 2020).



Figura 7 - Relevo na bacia do rio Doce obtido a partir dos dados do SRTM com resolução de 90 metros.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As Unidades de Resposta Hidrológica (URH) são áreas de comportamento hidrológico similar definidas comumente com base no tipo e uso do solo. Por meio delas que é considerada a variabilidade espacial da bacia dentro do MGB. Em cada URH ocorre o balanço de água no solo e os volumes gerados em cada unidade são somados e propagados inicialmente em nível de minibacias, e posteriormente pela rede de drenagem. Para cada URH, também é realizada a estimativa da produção de sedimenots nas minibacias, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo Modificada - MUSLE (Williams, 1975) e o aporte das cargas de sedimentos geradas para a rede de drenagem.

Para uso no modelo, geralmente as URH são definidas por meio da sobreposição de mapas de tipo de solo e de uso da terra e vegetação. No presente trabalho foi diretamente utilizado um mapa de URHs desenvolvido por Fan et al. (2015) para toda a América do Sul. Este mapa foi elaborado com base em mapas de tipos de vegetação oriundos da iniciativa GlobCover (ARINO et al., 2009) e em mapas de tipos de solo da FAO (FAO, 2003), do projeto RADAM BRASIL, e de outros produtos mais detalhados existentes em alguns estados brasileiros e apresentam nove classes: floresta em solo raso (1-FSR); floresta em solo profundo (2-FSP); agricultura em solo raso (3-ASR); agricultura em solo profundo (4-ASP); campo em solo raso (5-CSR); campo em solo profundo (6-CSP); várzea e florestas inundáveis (7-VFI); áreas semi-impermeáveis (8-ASI) e água (9-AGU). No mapa de (FAN et al., 2015) (Figura 8), solos rasos são aqueles que possuem alta capacidade de geração de escoamento superficial, como os Cambissolos, Litossolos e Gleissolos, enquanto solos profundos são aqueles que possuem baixa capacidade de gerar escoamento superficial, como os Argissolos e Latossolos.

O mapa de URHs desenvolvido por Fan et al. (2015) tem sido utilizado em diversos estudos de modelagem hidrológica de grandes escalas com o uso do MGB-IPH, como em Lisboa et al. (2015), Lopes (2017), Silva et al. (2018), Siqueira et al. (2018), Suekame et al. (2020), bem como em estudos de modelagem hidrológica e de sedimentos, como os desenvolvidos na bacia do rio Doce por Fagundes et al. (2019) e Fagundes et al. (2020).

Embora diferentes tipos de solos apresentem comportamentos diferentes aos processos erosivos, na escala de aplicação do modelo MGB-SED torna-se impraticável a distinção de solos que possam apresentar comportamentos semelhantes. Portanto, considerando o uso de um modelo de grande escala, o mapa de URHs considerado neste estudo, e já aplicados em diversos outros, é adequado e coerente com as características de uso e tipo de solo da Bacia do Rio Doce.





Fonte: Elaborado pela autora (2019).

4.3 MÓDULO HIDROLÓGICO

4.3.1 Discretização da Bacia Hidrográfica

Para dar início ao processo de discretização da bacia no modelo foi utilizado o MDE, a partir do qual foram realizadas etapas de remoção de depressões, geração de direções de fluxo, área de drenagem acumulada, rede de drenagem e a subdivisão em minibacias (PAIVA; COLLISCHONN; TUCCI, 2011). A ferramenta adotada para este processo foi a IPH-Hydro Tools (SIQUEIRA et al., 2016), que opera dentro do programa Quantum Gis (QGIS).

Para definir a rede de drenagem, é preciso adotar um valor limite de área de drenagem a partir do qual considera-se que se inicia um curso d'água. O limite escolhido neste estudo foi de, aproximadamente, 4,1 km² (cerca de 5000 pixels do MDE), sendo gerada a partir do MDE a rede de drenagem e a delimitação da bacia.

Após a definição da rede de drenagem, foi realizada a segmentação da rede em trechos de rios individuais. O IPH-Hydrotools permite delimitar minibacias de duas formas: por trechos de rio, seguindo o critério das confluências, onde um trecho de rio é definido como um segmento da rede de drenagem localizado entre duas confluências sucessivas (FAN e COLLISCHONN, 2014); e por uma metodologia que considera um critério adicional de segmentação relacionado ao comprimento dos trechos de rio, no qual se define um comprimento máximo para os trechos de rios para que a estabilidade do modelo Inercial de propagação de vazões seja garantida (FAN et al., 2014b; PONTES et al., 2015; PONTES, 2016). Neste trabalho foi utilizado o segundo método, adotando máximo comprimento de rio de 10 km conforme recomendação (PONTES, 2016), gerando um total de 1448 minibacias (Figura 9).



Figura 9 - Distribuição espacial das 1488 minibacias delimitadas na bacia do rio Doce.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Em seguida, foi realizada a divisão da bacia em sub-bacias, permitindo que, para cada uma delas, fosse possível definir um conjunto diferente de valores dos parâmetros para cada uma de suas URH. Neste estudo, para cada posto fluviométrico existente foram definidas as suas áreas de influência (bacias incrementais). Embora tenham sido considerados os 62 postos fluviométricos no estudo, postos que estavam localizados muito próximos foram considerados como um único local de geração de sub-bacias, sendo então geradas 60 sub-bacias (Figura 10), as quais foram numeradas de montante para jusante.



Figura 10 - Distribuição espacial das 60 sub-bacias delimitadas na bacia do rio Doce.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

4.3.2 Relações geomorfológicas

Para a simulação hidráulica e do transporte de sedimentos nos rios, é necessário conhecer as características das seções transversais de cada trecho das minibacias. No modelo, as seções transversais dos trechos de rios são consideradas retangulares, e os parâmetros geométricos de largura B_{rio} [m] e profundidade máxima H_{rio} [m] são estimados como função da área de drenagem Ad [km²], por meio de relações geomorfológicas.
As relações geomorfológicas utilizadas neste trabalho foram estimadas por Fagundes et al. (2020). Os autores analisaram dados de perfis transversais de 27 estações fluviométricas disponibilizadas pela ANA na bacia do rio Doce e, como cada uma das estações analisadas possuía mais de um perfil, foram selecionados aqueles que representavam o comportamento médio da seção ao longo do tempo, estabelecendo as equações geomorfológicas para a bacia. As equações desenvolvidas por Fagundes et al. (2020) para largura e profundidade, respectivamente, foram:

$$B_{rio} = 0.15 * A_d^{0.71} \tag{09}$$

$$H_{rio} = 0.35 * A_d^{0.20} \tag{10}$$

Estas relações geomorfológicas também são utilizadas no módulo de sedimentos do modelo.

4.3.3 Parâmetros fixos

O módulo hidrológico do modelo MGB-SED, possui diversos parâmetros que necessitam ser estabelecidos. Alguns destes são considerados parâmetros fixos e outros são definidos como parâmetros calibráveis.

Os chamados parâmetros fixos (COLLISCHONN, 2001) são aqueles relativos às características da vegetação, tais como albedo, resistência superficial, altura e o índice de área foliar, e são definidos para cada Unidade de Resposta Hidrológica - URH. O albedo é a parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua determinada cobertura vegetal. O Índice de Área Foliar é um parâmetro adimensional (m²/m²) que expressa a relação entre a área das folhas de todas as plantas e da área de uma parcela de solo. A resistência superficial (s/m) representa a resistência ao fluxo de umidade do solo, através das plantas até a atmosfera.

Os valores dos parâmetros fixos utilizados neste trabalho estão apresentados nas Tabela 4 a 7 e foram os mesmos adotados por Fagundes (2018). Esses parâmetros foram definidos com base nas características da bacia, estudos anteriores e utilização de imagens e produtos de sensoriamento remoto, como o albedo e o índice de área foliar disponível pelo Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux - http://eeflux-level1.appspot.com/) e.

Uso	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
9	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Contor C			10)									

Tabela 4 - Valores de albedo (adimensional).

Fonte: FAGUNDES (2018).

Tabela 5 - Valores de índice de área foliar (m²/m²).

Uso	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
2	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
3	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
6	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
7	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Fonte: FAGUNDES (2018).

Tabela 6 - Valores de altura da vegetação (m).

Uso	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
2	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
3	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Fonte: FAGUNDES (2018).

Tabela 7 - Valores de resistência superficial (s/m)

Uso	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	40,0	40,0	40,0	50,0	60,0	70,0	60,0	50,0	40,0	40,0	40,0	40,0

2	40,0	40,0	40,0	50,0	60,0	70,0	60,0	50,0	40,0	40,0	40,0	40,0
3	40,0	40,0	40,0	50,0	60,0	70,0	60,0	50,0	40,0	40,0	40,0	40,0
4	40,0	40,0	40,0	50,0	60,0	70,0	60,0	50,0	40,0	40,0	40,0	40,0
5	40,0	40,0	40,0	50,0	60,0	70,0	60,0	50,0	40,0	40,0	40,0	40,0
6	40,0	40,0	40,0	50,0	60,0	70,0	60,0	50,0	40,0	40,0	40,0	40,0
7	20,0	20,0	20,0	50,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
8	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: FAGUNDES (2018).

4.3.4 Parâmetros calibráveis, calibração e validação do modelo hidrológico

Os parâmetros chamados calibráveis são os relacionados ao balanço de água no solo (COLLISCHONN, 2001): a capacidade de volume do solo (Wm); parâmetro de drenagem sub superficial (Kint); parâmetro de drenagem subterrânea (Kbas); relação entre a capacidade do solo e o grau de saturação (b), e parâmetros de retardo dos reservatórios superficial (Cs), sub-superficial (Ci) e subterrâneo (CB). Para a definição dos valores destes parâmetros é necessária então a realização da calibração. Para representar a variabilidade espacial das características da bacia, foram definidos conjuntos diferentes de valores destes parâmetros para cada sub-bacia estabelecida neste estudo.

A calibração foi feita de forma manual, ajustando os hidrogramas calculados de forma que ele tenha comportamento similar aos hidrogramas observados nas 62 estações fluviométricas selecionadas. Durante a calibração o modelo foi executado utilizando a propagação de vazões com o método de Muskingum-Cunge (MC). No entanto, após a calibração, para a simulação hidrológica foi utilizado o método inercial. A calibração foi realizada para o período de 1990 a 2014 e, para validar os valores calibrados dos parâmetros, foi considerada uma fase de validação com período distinto ao da calibração. O período da validação considerado neste trabalho foi de 1970 a 1989, e os resultados foram avaliados em 54 estações fluviométricas que possuíam dados nesse período.

Para avaliar o desempenho da calibração foram utilizadas 3 estatísticas de desempenho de modelo: O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (ENS), o

coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos (ENSLog) e o erro relativo de volume total (ΔV) dos hidrogramas.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe é uma forma quantitativa de avaliar o desempenho de um modelo hidrológico, medindo o quanto o modelo hidrológico é superior a um modelo alternativo, que é a média de longo prazo das vazões. Um modelo perfeito apresentaria coeficiente de valor igual a 1, e um modelo pior que o alternativo apresentaria valores negativos (PONTES, 2016). O cálculo do coeficiente é dado por:

$$ENS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (QC_i - QO_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} (QO_i - QO_m)^2}$$
(11)

O coeficiente de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões é muito semelhante ao original, utilizando o operador logaritmo antes dos cálculos estatísticos a fim de reduzir sua sensibilidade aos erros nas vazões máximas.

$$ENSlog = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (\log (QC_i) - (\log(QO_i))^2)}{\sum_{i=1}^{N} (\log (QO_i) - (\log(QO_m))^2)}$$
(12)

O erro relativo de volume total dos hidrogramas é dado por:

$$\Delta V = \frac{\sum_{i=1}^{N} QC_i - \sum_{i=1}^{N} QO_i}{\sum_{i=1}^{N} QO_i}$$
(13)

onde QCi é a vazão calculada em um intervalo de tempo *i*, QOi é a vazão observada no mesmo intervalo de tempo, N é o número de intervalos de tempo, QOm é a média das vazões observadas no período de N intervalos de tempo e QOmLog é a média dos logaritmos das vazões observadas no período de N intervalos de tempo.

Para avaliar o desempenho do modelo, os resultados das estatísticas foram classificados de acordo com Moriasi et al. (2007). Esses autores sugerem as seguintes classificações para o desempenho de modelos hidrológicos baseadas no coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS): "Muito bom" para valores maiores que 0,75; "Bom"

para valores entre 0,65 e 0,75; "Satisfatório" para valores entre 0,5 e 0,65 e "Não satisfatório" para valores abaixo de 0,50. Essa mesma classificação foi adotada para o coeficiente ENSlog. Já para o erro de volume (ΔV), as classificações são: "Muito bom" para valores entre -10% e 10%; "Bom" para valores ±10% ΔV < ±15%, Satisfatório para ±15% < ΔV < ±25%, e "Inadequado" para valores maiores que ±25%.

4.4 MÓDULO DE SEDIMENTOS

O módulo de sedimentos do MGB-SED é dividido em três componentes principais: bacia, rio e planícies de inundação (BUARQUE, 2015). Na componente bacia é realizada a estimativa da produção de sedimentos nas minibacias, para cada Unidade de Resposta Hidrológica, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo Modificada - MUSLE (Williams, 1975) e o aporte das cargas de sedimentos geradas para a rede de drenagem. O modelo considera ainda que nem todo o volume de sedimentos gerados nas minibacias chegam à sua correspondente rede de drenagem em um mesmo passo de tempo do modelo, e este retardo é considerado aplicando-se o conceito de reservatório linear simples.

A componente rio é responsável pela propagação das cargas de sedimentos provenientes das minibacias, as quais são divididas em 3 classes de tamanho de partículas (definidas pelo percentual de cada uma delas na composição dos solos): silte, argila e areia. As partículas de silte e argila são consideradas sedimentos finos e são transportadas como carga em suspensão. Já as partículas de areia são transportadas como carga de fundo.

A componente planície permite a troca de sedimentos finos (silte e argila) entre o rio e sua correspondente planície de inundação (quando houver), dentro da qual pode ocorrer uma deposição de material fino. No entanto, esse componente só está ativo em trechos de rios onde a propagação de vazões ocorre pelo modelo inercial (FÖEGER, 2019).

Informações mais detalhadas das três componentes do MGB-SED são encontradas em Buarque (2015). As equações que fazem parte destas componentes estão

descritas no Anexo A. Em seguida serão descritas as modificações que foram realizadas na componente bacia para a realização deste trabalho, necessárias para a inserção e aplicação das equações RUSLE2 e USLE-M no modelo MGB-SED.

4.4.1 Inclusão de novas equações de perda de solo

Na componente bacia do modelo MGB-SED estima a produção de sedimentos nas minibacias com a equação da MUSLE. Neste estudo foram inseridas ao modelo as equações RUSLE2 e USLE-M de forma a avaliar o potencial de aplicação dessas equações de perda de solo para uso em modelagem distribuída de grandes bacias. No entanto, diferentemente da MUSLE, as equações USLE-M e RUSLE2 estimam a perda de solo nas minibacias, de forma que para estabelecer o aporte de sedimentos das minibacias para o rio é necessário considerar uma Taxa de Transferência de Sedimentos (Sediment Delivery Ratio – SDR) (WALLING,1983; LU et al., 2006; WOZNICKI e NEJADHASHEMI, 2013).

Para a inserção das novas equações, primeiramente foram identificados quais parâmetros das equações RUSLE2 e USLE-M já são calculados pelo modelo, sendo chamados de "parâmetros comuns", e quais aqueles que precisariam ser incluídos ao modelo, sendo chamados de "parâmetros específicos". As alterações necessárias para a inserção das equações ao módulo de sedimentos foram realizadas na versão mais recente do MGB-SED (FÖEGER, 2019), sendo criadas novas rotinas para a leitura de variáveis e adaptadas as rotinas já existentes com novos cálculos para determinação de variáveis.

As definições dos parâmetros das equações da MUSE, USLE-M e RUSLE2 e seus respectivos cálculos e/ou dados estão apresentadas no próximo tópico.

4.5 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS EM COMUM

4.5.1 Parâmetros em comum entre as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2

• Fator Topográfico (LS)

O fator L representa o comprimento da rampa, e o fator S é caracterizado como o ângulo ou o índice de inclinação do terreno. Juntos, formam o fator LS e representam a contribuição do escoamento superficial no processo de erosão hídrica. Para a determinação do fator LS, Buarque (2015) implementou uma rotina computacional que determina automaticamente o fator LS bidimensional, sugerido por Desmet e Govers (1996), para cada pixel $k\langle l,c\rangle$ do MDE. Considerando que o MDE é uma representação espacial da topografia em formato raster, sua estrutura é descrita por uma matriz $k\langle l,c\rangle$ de I linhas e c colunas que armazena informações em I × c posições definidas como pixels. O fator L é obtido pela equação (1996):

$$L_{k} = \frac{(Am_{k} + Lp_{k}^{2})^{m+1} - Am_{k}^{m+1}}{Lp^{m+2} \cdot Xdir_{k}^{m} \cdot (22,13)^{m}}$$
(14)

onde *L* é o fator de comprimento do pixel *k*; *Am* [m²] é a área de drenagem acumulada a montante do pixel *k*; *L*p [m] é a largura do pixel; *Xdir* é um fator de direção de aspecto para o pixel; *m* é um expoente do comprimento do declive e seu valor é definido de acordo com o fator Sf. As condições para definição do expoente m está no apêndice A. A área de drenagem acumulada $A\langle l,c \rangle$ a montante de cada pixel corresponde ao somatório das áreas das superfícies de todos os pixels $k\langle l,c \rangle$ que correspondem à bacia de contribuição do pixel *k* (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). O fator de direção *Xdir* corresponde à distância entre dois pixels vizinhos, definida como igual a 1 quando a direção entre eles é ortogonal, ou igual a 21/2 quando a direção é diagonal.

O fator *S* é calculado pela equação de Wischmeier e Smith (1978):

$$S_k = 65,41 \cdot \sin^2(\theta_k) + 4,56 \cdot \sin(\theta_k) + 0,065$$
(15)

sendo θ o valor de *Sf* em graus.

A declividade Sf mede a taxa de variação da elevação na direção do maior declive e é obtido para cada pixel do Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando as elevações z [m] dos seus quatro vizinhos nas direções ortogonais, pela seguinte expressão (WILSON; GALLANT, 2000):

$$Sf = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2}$$
(16)

em que $\partial z/\partial x$ e $\partial z/\partial y$ são as derivadas parciais de primeira ordem que descrevem a taxa de variação local da elevação z [m] com as distâncias ortogonais *x* e *y*.

• Fator de práticas conservacionistas (P)

Para o fator de práticas conservacionistas foi adotado o valor igual a um (1) para todas as URH devido à escassez de informações detalhadas e a dificuldade para obter informações, valor também adotado por De Vente et al. (2008), Wilkinson et al. (2009), Buarque (2015), Fagundes (2018), Föeger (2019) e Fagundes (2020).

4.6 DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS ESPECÍFICOS

4.6.1 Parâmetros específicos da equação da MUSLE

Os fatores que se diferem na equação da MUSLE são: escoamento superficial, taxa de pico do escoamento superficial, coeficientes $\alpha \in \beta$, fator de erodibilidade e fator de cobertura e manejo do solo.

- Escoamento superficial, taxa de pico do escoamento superficial, coeficientes α e β

O volume de escoamento superficial é gerado pelo módulo hidrológico do MGB-SED, o qpico é a taxa de pico do escoamento superficial e é calculada para cada pixel K em cada minibacia (representada pelos índicies i e j), conforme equação 17.

$$qpico_{i,j}^{k} = \frac{Dsup_{i,j}^{k} \cdot A_{i,j}^{k}}{86.4}$$
(17)

onde Dsup é o volume do escoamento superficial (mm) uniforme ao longo do dia.

" α " e " β " são coeficientes de ajuste, inicialmente adotados como 11,8 e 0,56, respectivamente, como proposto por Williams (1975).

• Fator de Erodibilidade (K)

O fator de erodibilidade do solo foi calculado com base nas informações dos percentuais de silte, argila, areia, e carbono orgânico de cada tipo de solo, através da equação proposta por Willians (1995):

$$Kj = Fagj . Fcsj . Forgj . Faj$$
(18)

em que *Fag* é um fator de areia grossa que fornece baixos valores de K para solos com grande quantidade de areia grossa e altos valores para solos com pouco areia; *Fcs* um fator "argila-silte" que reduz o valor K para solos com elevada concentração de silte; *Forg* um fator reduz o valor de K de solos com quantidades elevadas de carbono orgânico; e *Fa* um fator que reduz o valor de K de solos com elevada quantidade de areia; e o índice j indica a URH.

As porcentagens de areia, silte, argila e carbono que compunham cada tipo de solo da bacia hidrográfica da bacia do rio Doce adotados neste trabalho foram os mesmos adotados por Fagundes (2018) que definiu as porcentagens através de dados obtidos da Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (FAO, 1971). Como os solos foram agrupados em classes, por exemplo, Argissolos e Latossolos foram enquadrados como solos profundos, Fagundes (2018) realizou uma uma média dos percentuais de cada componente são apresentados na Tabela 8. • Fator de Cobertura e Manejo do Solo (C)

O fator de uso e cobertura da terra é considerado para cada classe de uso das URHs e os valores de parâmetros adotados neste trabalho foram os mesmos utilizados por Fagundes (2018) que foram definidos conforme literatura. Fagundes (2018) definiu os valores do fator *C* para floresta, agricultura e campo através do trabalho de Silva et al. (2010), o valor para várzea pelo trabalho de Vázquez-Fernández et al. (1996) e de áreas semi-impermeáveis do trabalho de Ribeiro e Alves (2007). Os valores de agricultura adotados foram considerados através da média dos valores de *C* para diferentes culturas. A Tabela 8 apresenta os valores dos parâmetros.

ПВП	Solo		ł		С		
υκπ	3010	Areia %	Silte %	Argila %	orgC %	С	C (USLE-M)
Floresta em solo raso	Cambissolos e Litossolos	65,550	15,550	18,900	0,870	0,040	0,250
Floresta em solo profundo	Argissolos e Latossolos	44,500	16,750	38,750	1,835	0,040	0,250
Agricultura em solo raso	Cambissolos e Litossolos	65,550	15,550	18,900	0,870	0,164	0,820
Agricultura em solo profundo	Argissolos e Latossolos	44,500	16,750	38,750	1,835	0,164	0,820
Campo em solo raso	Cambissolos e Litossolos	65,550	15,550	18,900	0,870	0,050	0,025
Campo em solo profundo	Argissolos e Latossolos	44,500	16,750	38,750	1,835	0,050	0,025
Várzea	Argissolos	53,300	17,200	29,500	1,740	0,500	0,250
Área semi- impermeável	Argissolos e Latossolos	44,500	16,750	38,750	1,835	0,001	0,005
Água	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 8 - Parâmetros adotados para estimativa da produção de sedimentos.

Fonte: Fagundes (2018).

4.6.2 Parâmetros específicos da equação RUSLE 2

Os parâmetros da RUSLE2 que diferem daqueles adotados na MUSLE são a erodibilidade do solo e a erosividade, os quais devem ser estimados conforme apresentado a seguir. A equação da RUSLE2 traz sua própria fórmula do fator de erodibilidade, por isso não foi utilizado o mesmo cálculo da MUSLE.

• Fator de Erodibilidade (K)

O fator de erodibilidade do solo é calculado conforme equações apresentadas no manual da RUSLE2 (USDA, 2008):

$$K = \frac{k_T k_o + k_s + k_p}{100}$$
(19)

onde K [t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹] é o fator de erodibilidade do solo, k_T é o subfator de textura do solo, k_0 é o subfator de matéria orgânica do solo, k_s é o subfator de estrutura do solo e k_p é o subfator de perfil de permeabilidade do solo.

O subfator de textura do solo é estimado dependendo do percentual de silte (SIL) e de areia muito fina (SAN_{vf}) presente no solo, sendo dado pelas equações:

Para: $SIL + SAN_{vf} > 68\%$

$$K_t = K_{tb} - [0.67 * (K_{tb} - K_{t68})^{0.82}]$$
⁽²⁰⁾

Para: $SIL + SAN_{vf} \le 68\%$

$$K_t = K_{tb} \tag{21}$$

$$K_{tb} = 2.1 \frac{\left[\left(SIL + SAN_{vf}\right)(100 - ARG)\right]^{1.14}}{100000}$$

$$K_{t68} = 2.1 \frac{\left[68(100 - ARG)\right]^{1.14}}{1000}$$
(22)
(23)

onde ARG é porcentagem de argila; K_{tb} é subfator de textura do solo; K_{t68} é subfator de textura do solo quando SIL + SAN_{vf} > 68%.

$$SAN_{vf} = \left(0.74 - 0.62 * \frac{SAN}{100}\right) * SAN$$
 (24)

67

(20)

(04)

onde SAN é a porcentagem de areia.

O subfator de matéria orgânica (K_0) é calculado pela equação 25 e o subfator de estrutura do solo (K_s) é calculado de acordo com a equação 26. Já o subfator de perfil do solo (K_p) é realizado conforme equação 27.

$$K_o = (12 - orgC) \tag{25}$$

$$K_s = 3.25 * (S_s - 2) \tag{26}$$

$$K_p = 2.25 * (P_r - 3) \tag{27}$$

sendo orgC é porcentagem de matéria orgânica inerente ao solo, Ss é estrutura de classe do solo onde: 1 = granular muito fino, 2 = granular fino, 3 = granulado médio ou grosso e 4= bloco, Pr é a classificação de permeabilidade do solo, sendo: 1 = rápido, 2 = rápido moderado, 3 = moderado, 4 = lento a moderado, 5= lento, 6 = muito lento.

A estrutura de classe do solo foi definida como fino granular, devido ao tipo de solo na bacia ser, em sua maioria, Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelhos (PIRH, 2010) que possuem textura média ou mais fina (APTA, 2015). Já a classificação de permeabilidade do solo foi considerada moderada, porque além dos Latossolos e Argissolos, que são considerados com boa permeabilidade, na bacia também possuem solos do tipo Neossolos Litólicos, Gleissolos e Cambissolos que são solos com alto potencial de geração de escoamento superficial (EMBRAPA, 2006).

As porcentagens de areia, silte, argila e carbono que compunham cada solo da bacia hidrográfica da bacia do rio Doce adotados neste trabalho foram os mesmos adotados por Fagundes (2018), apresentados na Tabela 8.

• Erosividade

A erosividade da chuva é um índice que expressa o potencial da chuva em causar erosão no solo (NEARING et al., 2017). De acordo com Wischmeier e Smith (1958), a

melhor variável para avaliar a erosividade é o produto da energia cinética (Ec) e sua intensidade máxima em 30 minutos (I₃₀), expressa como índice EI₃₀. Uma das dificuldades desse método é que ele requer registros pluviográficos, que é um tipo de informação difícil de ser obtida, além do seu processamento ser demorado e trabalhoso (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Para superar o problema de escassez de dados, várias equações foram propostas para estimar a erosividade da chuva em diferentes escalas de tempo. Os dados diários de chuvas são dados que estão disponíveis com maior frequência e para este estudo, que considera a escala de tempo diária, é necessário estimar a erosividade diária, e uma equação geral para estimar o termo de erosividade a partir de dados diários de precipitação foi proposta por Richardson et al. (1983).

O cálculo da erosividade diária foi realizado conforme procedimento proposto por Richardson et al. 1983, também aplicado em trabalhos como Haith e Merrit (1987), Selker et al. (1990), Tinner et al. (1993) e Begueria et al. (2018). Para a otimização do procedimento descrito abaixo, foi criado um código em linguagem MATLAB para obtenção dos resultados de erosividade diária.

A erosividade da chuva é um índice que expressa o pontencial da chuva em causar erosão no solo, então, a chuva a ser considerada é aquela que irá induzir a perda de solo. Por isso, como a perda de solo é estimada em cada minibacia, a precipitação considerada para estimar a erosividade diária foi a série histórica obtida em cada minibacia (1488) por meio da interpolação dos dados observados nas estações.

A Erosividade da chuva é estimada em função da precipitação, conforme equação 28. O cálculo da erosividade diária foi realizado conforme procedimento proposto por Richardson et al. (1983), também aplicado em trabalhos como Haith e Merrit (1987), Selker et al. (1990), Tinner et al. (1993) e Begueria et al. (2018).

Para o procedimento descrito abaixo, foi criado um código no programa de linguagem MATLAB para a otimização do processo.

O modelo é baseado na relação do índice de erosividade e da chuva, conforme fórmula abaixo:

$$EI = aP^b + \notin$$
(28)

Os El e P são definidos como erosividade da chuva e chuva, respectivamente, e € é o resíduo. Os parâmetros a e b são coeficientes da equação e foram encontrados por meio de regressão linear da equação logarítmica da equação 28:

$$\log EI = \log a + b \log P + \in$$
(29)

Antes de realizar a regressão linear foi necessário estimar um fator EI de referência mensal que foi posteriormente utilizado para encontrar os valores dos coeficientes a e b e o resíduo (€). Para escolher qual equação iria ser utilizada para o cálculo da erosividade mensal de referência, foram verificadas as equações existentes e analisados os resultados de três equações (LOMBARDI NETO E MOLDENHAUER, 1992; SILVA, 2004; OLIVEIRA et al., 2009). Como os resultados eram similares para as três equações, foi escolhida a equação proposta por Oliveira et al. (2009) para o Vale do Rio Doce, em Minas Gerais para o cálculo de EI mensal.

$$EI = 137,09 \, (Rc)^{0,7717} \tag{30}$$

onde Rc [mm] é o coeficiente de chuva estimado por:

$$Rc = \frac{p^2}{P}$$
(31)

Sendo p [mm] a precipitação média mensal e P [mm] a precipitação média anual.

Com os dados mensais de EI de referência e os dados de precipitação diários, foi realizada uma regressão linear com a equação 29, tendo como resultado os coeficientes a e b e o resíduo (€). Conforme proposto por Richardson et al. (1983), para cada série histórica de chuva devem ser encontrados dois pares de valores de "a" e "b um para o período chuvoso e outro para o período quente.

O regime pluviométrico na bacia do rio Doce é caracterizado por dois períodos bem distintos, um período chuvoso que se estende de outubro a março, e um período seco que se estende de abril a setembro, sendo adotados esses critérios no trabalho (PIRH, 2010). Logo, para cada série histórica foram encontrados dois pares de valores de "a" e "b" considerando o período chuvoso (out-mar) e seco (abr-set) da bacia do rio Doce.

Após o cálculo dos coeficientes e do resíduo, foram estimados os índices de erosividade diária para as séries históricas de chuva interpoladas para cada uma das 1488 minibacias, obtendo os valores diários de erosividade para cada uma delas. Porém, de acordo com Richardson et al. (1983), os valores encontrados precisam estar dentro de uma faixa de valor, sendo definidos limites máximos e mínimos de erosividade. Então, após o cálculo da erosividade diária foi realizado o cálculo dos limites máximos e mínimos da EI e verificado se os valores estavam dentro dos limites. No caso de valores que extrapolaram os limites calculados, esses foram ajustados para o valor do limite correspondente.

O El mínimo é calculado (RICHARDSON et al., 1983) conforme equação 32.

$$EImin = P^{2}(0.00364 \log 10 P - 0.000062).$$
(32)

Existem dois critérios para calcular o El máximo (RICHARDSON et al., 1983). No primeiro, o El máximo resultaria de um evento no qual todo o volume da precipitação ocorre em 30 minutos, ou menos. Então, conforme Richardson et al. (1983), para intensidades inferiores a 76 mm/h ($P \le 38$ mm):

$$EImáx = P^{2}(0.291 + 0.1746 \log 10 P)$$
(33)

O segundo critério é para chuvas com intensidade maior que 76 mm/h e P > 38 mm, assim:

$$EImáx = 0.566 P^2$$
 (34)

• Definição de chuva erosiva

O índice de erosividade é determinado para chuvas que são classificadas como erosivas, porém existem diferentes critérios para essa classificação. No Brasil, tem sido comum classificar como chuva erosiva aquela com mais de 10 mm ou quando 6 mm de chuva caem em 15 minutos seguidos (OLIVEIRA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2011A; WISCHMEIER, 1959). No manual da RUSLE2 são consideradas chuvas erosivas aquelas com mais de 12mm, mas este é um critério definido para os Estados Unidos.

Como neste trabalho a erosividade é calculada a partir de dados diários de precipitação, não é possível determinar diretamente o volume de chuva que tenha caído em 15 minutos. Desta forma, para definir o critério de chuva erosiva a ser utilizado neste trabalho, foram feitos testes considerando três valores de chuvas erosivas: 6mm, 10mm e 12 mm. Para isso, foram realizadas três simulações para cada equação que utiliza o fator de erosividade (USLE-M e RUSLE2), sendo uma primeira considerando chuva erosiva como 6mm ao calcular a erosividade, a segunda considerando 10mm e a terceira considerando 12mm. Em seguida foram comparados, para as duas equações, os resultados de concentração de sedimentos em suspensão simulados com os três critérios de chuva erosiva com os dados observados de CSS. A estatística utilizada para analisar os resultados foi o coeficiente de correlação de Pearson.

4.6.3 Parâmetros específico da equação USLE-M

Os parâmetros da USLE-M que se diferem daqueles da MUSLE e da RUSLE2 são: o coeficiente de escoamento; o fator de erodibilidade do solo; fator de uso e manejo do solo; e a erosividade, que é calculada da mesma forma que na RUSLE2, apresentada no item 4.6.2.

• Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento é calculado pela equação abaixo:

$$Q_r = \frac{Dsup}{Pe}$$
(35)

onde: Dsup [mm/dia] é o escoamento superficial gerado pelo módulo hidrológico do modelo e Pe [mm/dia] é a precipitação no dia.

• Fator de erodibilidade

Para o cálculo de erodibilidade do solo, Kinnell e Risse (1998) desenvolveram uma relação entre o k da USLE (ku) e k da USLE-M (Kum), onde:

$$K_{UM} = K_U x K_{K,UM} \tag{36}$$

$$K_{K,UM} = \frac{\sum_{e=1}^{N} (EI_{30})_e}{\sum_{e=1}^{N} (Qr \ x \ EI_{30})_e}$$
(37)

$$K_u = 0.1317 * \frac{[2.1x10^{-4}x(12 - orgC)xM^{1.14} + 3.25(Ss - 2) + 2.5(Pr - 3)]}{100}$$
(38)

$$M = \left(SIL * SAN_{vf}\right) * (100 - ARG) \tag{39}$$

sendo K_u [t.ha.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹] é o fator de erodibilidade do solo da USLE; orgC é o teor de matéria orgânica, expresso em porcentagem; Ss e Pr são a estrutura de classe do solo e permeabilidade do solo, respectivamente.

As porcentagens de areia, silte, argila e carbono que compunham cada solo da bacia hidrográfica da bacia do rio Doce adotados neste trabalho foram os mesmos adotados por Fagundes (2018), apresentados na Tabela 8.

• Fator de Cobertura e Manejo do Solo (C)

De acordo com Kinnell (2019), a USLE-M utiliza uma razão de escoamento que deve ser associada à situação de parcela unitária com fator C = 1 (pousio nu) e P = 1 (cultivo para cima e para baixo na encosta). Geralmente, a taxa de escoamento superficial para uma área vegetada é menor do que para pousio nu, portanto, usá-la resultaria em um valor de índice de erosividade muito baixo. Consequentemente, o fator C deve ser aumentado para compensar.

No entanto, Kinnell e Risse (1998) encontraram valores de C para USLE-M que variaram de 1,1 a 32,3 vezes os valores de C da USLE. Para determinar os valores de C da USLE-M neste estudo, foram considerados inicialmente os valores de C adotados por Fagundes (2018), listados na Tabela 8 e, em seguida, os valores de C foram variados dentro da faixa apresentada pelos autores, buscando melhorar os ajustes dos sedimentogramas. Os valores de C utilizados na USLE-M também estão na Tabela 8.

4.7 TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTOS (SDR)

Para o cálculo do aporte de sedimentos com a equação da RUSLE2 e USLE-M foi necessário a utilização de uma taxa de transferência de sedimentos.

O SDR utilizado neste trabalho já estava inserido no modelo por Buarque (2015) e foi proposto por Lenhart et al. (2005), onde a formulação é aplicada a todos os pixels do MDE e considera a distância de cada pixel à rede de drenagem. Para cada sub-bacia de discretização do modelo foi obtida uma distância média ponderada pelo inverso do gradiente de declividade do pixel. O SDR foi calculado conforme equações abaixo:

$$SDR = k \cdot \frac{1}{D_w} \tag{40}$$

$$D_W = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot D_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$
(41)

$$W_i = \frac{1}{S_i} \tag{42}$$

74

onde SDR é a taxa de entrega de sedimentos, Dw [m] é a distância ponderada do canal do rio, k [-] é um coeficiente de calibração, Wi é o peso da célula da grade i, Si é o gradiente de inclinação na célula da grade i e Di é a distância do fluxo da célula da grade i.

4.7.1 Simulação, calibração e validação do módulo de sedimentos

Após as adaptações das equações e seus parâmetros no modelo, foi realizada a calibração, validação e simulação do módulo de sedimentos para cada uma das equações.

Assim como na etapa de simulação hidrológica, o período que foi utilizado para a calibração do modelo de sedimentos foi de 1990 a 2014, e o período da validação foi de 1970 a 1989. Foi escolhido um período maior e com mais estações e dados disponíveis para calibração pois o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial de aplicação de equações de perda de solo para uso em modelagem distribuída de grandes bacias, logo, em um período maior, com diferentes comportamentos das séries históricas ao longo dos anos, seria capaz de analisar melhor o potencial dessas equações.

Os parâmetros calibráveis do modelo MGB-SED são os coeficientes α e β presentes na equação da MUSLE (WILLIAMS, 1975), os quais foram calibrados seguindo a metodologia apresentada por FAGUNDES (2018), e o parâmetro TKS presente no modelo MGB-SED, que é o coeficiente de retardo do escoamento superficial aplicado aos reservatórios lineares que geram o aporte de sedimentos das minibacias para o rio.

As equações USLE-M e RUSLE2 foram associadas a uma SDR, que foi calibrada em função dos dados observados de concentração de sedimentos em suspensão nos rios.

Todos esses parâmetros foram calibrados por sub-bacia, permitindo uma maior representação da variabilidade espacial da bacia. Para analisar o impacto causado por esses parâmetros na resposta do modelo, foram realizados testes de sensibilidade variando os valores dos coeficientes a, b e TKS em 20% e 50% para mais e para menos.

As estatísticas adotadas para avaliar o desempenho da calibração e da validação para a comparação da concentração de sedimentos em suspensão com os dados observados foram: o índice de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH) (Equação 11), coeficiente de determinação (R²), coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e o viés percentual (percent bias - PBIAS). Para os dados de qualidade (turbidez e sólidos totais fixos), uma avaliação do desempenho dos resultados encontrados foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r).

O coeficiente de correlação linear de Pearson (r), sugere o grau de colinearidade existente entre os dados calculados e observados (MORIASI et al., 2007). Se Rtemp = -1 ou Rtemp = +1 significa que existe uma perfeita correlação linear negativa ou positiva, respectivamente. Quanto mais próximo de 0, menor é a correlação entre os dados. O coeficiente de correlação de Pearson (r) é dado por:

$$r = \frac{\sum (Cs_{obs} - \overline{Cs_{obs}})(Cs_{sim} - \overline{Cs_{sim}})}{\sqrt{\sum (Cs_{obs} - \overline{Cs_{obs}})^2 \sum (Cs_{sim} - \overline{Cs_{sim}})^2}}$$
(43)

Sendo $Cs_{obs} e Cs_{sim}$ [mg/L] as concentrações de sedimentos em suspensão medida e simulada, respectivamente, $\overline{Cs_{obs}} \overline{Cs_{sim}}$ [mg/L] são as médias das concentrações medidas e simuladas, respectivamente.

O coeficiente de determinação (R²), é uma das formas de avaliar a qualidade do ajuste do modelo. O R², é a porcentagem da variação nos dados medidos que é explicada pelo modelo e seu valor varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo de 1, melhor o ajuste do modelo considerado. De acordo com Moriasi et al. (2007) valores acima de 0,5 podem ser considerados aceitáveis para passos de tempo mensal. Ao usar passo de tempo diário é provável que os resultados das estatísticas calculadas apresentem valores menores.

O PBIAS compara os volumes totais simulados e observados e aponta o quanto o simulado difere do observado. Para o PBIAS, foi considerada faixas de valores para avaliação das simulações:

- Muito Bom: $PBIAS \le \pm 15,0$
- Bom: $\pm 15,0 < PBIAS \leq \pm 30,0$
- Satisfatório: $\pm 30,0 < PBIAS \leq \pm 45,0$
- Aceitável: $\pm 45,0 < PBIAS \le \pm 60,0$
- Não satisfatório: ±60,0 < *PBIAS*

Além dos resultados encontrados após a calibração, também serão apresentados os resultados encontrados sem esse procedimento, sendo comparado os resultados simulados com as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2 com os dados observados, sem calibração.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados e discutidos os resultados encontrados neste trabalho, considerando cada uma das equações de perda de solo analisadas. Inicialmente são apresentados resultados do módulo hidrológico (seções 5.1 e 5.2) com as etapas de calibração e validação. Posteriormente, são apresentados os resultados de erosividade diária (EI) estimada para a bacia do rio doce. Na seção 5.4 são apresentados resultados do módulo de sedimentos sem calibração, em seguida aqueles obtidos após as etapas de calibração e validação e validação, os quais incluem: os valores das estatísticas e sua espacialização na bacia; uma avaliação dos valores simulados e observados das variáveis concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e descarga sólida (QSS); uma avaliação das curvas vazão líquida (Q) x vazão sólida (Qs) simuladas e observadas; uma avaliação dos valores de CSS simulados comparados a dados de turbidez (TBZ) e de sólidos totais suspensos (SST) observados; e a representação da dinâmica de sedimentos na bacia.

5.1 CALIBRAÇÃO DO MÓDULO HIDROLÓGICO

A hidrologia da bacia é um dos principais componentes que controla a perda de solo e o transporte de sedimentos. O módulo hidrológico (MGB) alimenta o módulo de sedimentos do modelo MGB-SED, fornecendo variáveis como volume de escoamento superficial, vazões, velocidades e profundidade d'água nos rios, vazões de troca lateral entre rio e planície, entre outros. Para isso, é importante que o módulo hidrológico represente adequadamente a dinâmica da bacia, pois dele depende o módulo de sedimentos. Para isso, foi realizada a calibração e a validação dos parâmetros do modelo MGB (COLLISCHONN, 2001; PAIVA, 2009; PONTES 2016), em sua versão mais recente cujos métodos disponíveis para propagação de vazões são os de Muskingung-Cunge (MC) e o Inercial (IN).

Inicialmente a calibração dos parâmetros do modelo MGB foi realizada de forma manual, por sub-bacia, considerando o período de 1990 a 2014 e o método MC de propagação de vazões. Os parâmetros calibrados foram adotados para aplicação do

método IN e analise dos resultados nas 62 estações fluviométricas utilizadas neste trabalho (Figura 4) com as estatísticas de avaliação.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados das estatísticas de desempenho do modelo para cada estação fluviométrica selecionada neste trabalho, considerando o método de propagação de vazão IN. Da Figura 11 a Figura 13 é apresentada uma espacialização dos resultados das estatísticas do módulo hidrológico calibrado na bacia do rio Doce para o período de calibração (1990-2014).

Tabela 9 - Estatísticas de desempenho calculadas nas estações fluviométricas de selecionadas na bacia do rio Doce, no período de calibração (01/01/1990 a 31/12/2014).

Identificação	Subbacia	Estação	NASH	NASHLOG	$\Delta \mathbf{V}$
1	3	56028000	0,72	0,76	-5,75
2	2	56055000	0,67	0,66	2,00
3	1	56065000	0,62	0,59	-3,15
4	4	56075000	0,82	0,82	-3,27
5	6	56085000	0,50	0,57	-2,48
6	5	56090000	0,45	0,49	1,08
7	7	56110005	0,77	0,78	-8,60
8	8	56240000	0,70	0,68	4,10
9	9	56335001	0,66	0,74	-0,31
10	10	56337000	0,66	0,77	-3,76
11	27	56385000	0,63	0,37	4,55
12	28	56415000	0,65	0,76	0,60
13	29	56425000	0,83	0,82	-1,42
14	31	56460000	0,74	0,79	-5,98
15	32	56484998	0,76	0,73	-4,81
16	30	56500000	0,56	0,57	13,26
17	33	56510000	0,75	0,72	7,27
18	34	56539000	0,80	0,84	2,56
19	35	56570000	0,39	0,55	-7,80
20	12	56610000	0,68	0,74	-5,30
21	11	56631900	0,52	0,54	-0,69
22	11	56640000	0,63	0,67	-4,37
23	13	56659998	0,74	0,75	-4,72
24	14	56688080	0,82	0,64	-6,86
25	15	56696000	0,78	0,75	-8,46
26	36	56719998	0,82	0,84	-1,07
27	17	56750000	0,56	0,67	-4,49
28	18	56765000	0,67	0,71	1,74
29	20	56775000	0,63	0,74	-7,02
30	16	56787000	0,32	0,60	1,28
31	19	56800000	0,61	0,66	-1,49
32	21	56820080	0,82	0,54	-7,24

Identificação	Subbacia	Estação	NASH	NASHLOG	$\Delta \mathbf{V}$
33	22	56825000	0,81	0,62	-9,83
34	37	56845000	0,66	0,66	-2,25
35	38	56846000	0,68	0,67	-2,33
36	39	56846080	0,88	0,88	-2,18
37	41	56850000	0,82	0,85	-3,50
38	26	56851000	0,49	0,47	-6,58
39	23	56860000	0,63	0,72	3,89
40	24	56870000	0,54	0,62	0,36
41	25	56891900	0,68	0,70	0,75
42	42	56920000	0,82	0,82	-6,54
43	43	56928000	0,57	0,71	0,68
44	44	56935000	0,61	0,73	-3,43
45	45	56940002	0,56	0,70	-0,04
46	46	56960005	0,60	0,62	-5,24
47	47	56976000	0,65	0,74	-19,55
48	51	56978000	0,66	0,70	-21,13
49	48	56983000	0,63	0,64	-8,32
50	49	56988500	0,69	0,78	-1,60
51	50	56989001	0,70	0,73	-4,25
52	51	56989400	0,78	0,81	5,81
53	51	56990000	0,80	0,76	-11,52
54	52	56990990	0,50	0,44	-3,11
55	53	56991500	0,56	0,41	2,75
56	54	56992000	0,63	0,66	-0,44
57	54	56992400	0,82	0,63	11,37
58	57	56993551	0,66	0,52	-1,12
59	59	56994500	0,83	0,85	-1,00
60	59	56994510	0,76	0,47	-9,70
61	56	56995500	0,75	0,71	1,54
62	55	56998400	0,61	0,54	-13,51

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir dos resultados é possível verificar que, considerando a classificação de Moriasi et al. (2007), cerca de 93,5% das estações apresentaram valores do coeficiente de NASH considerados ao menos como satisfatórios, sendo que 61,3% tiveram coeficiente NASH considerado pelo menos como bom. Ao analisar o NASH do logaritmo das vazões (NASHLOG), 90,3% dos resultados foram considerados ao menos como satisfatórios e 29,0% das estações tiveram valores classificados como muito bom. Em relação ao erro de volume, 90,3% dos valores encontrados foram classificados como muito bom.

Figura 11 - Coeficiente de NASH calculado para as estações fluviométricas selecionadas na bacia do rio Doce, no período de calibração (1990 a 2014) e representadas pelos círculos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 12 - Coeficiente de NASHLOG calculado para estações fluviométricas selecionadas da bacia do rio Doce no período de calibração (1990 a 2014) e representadas pelos círculos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 13 - Erro de volume (ΔV) calculado para estações fluviométricas selecionadas da bacia do rio Doce no período de calibração (1990 a 2014) e representadas pelos círculos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Os postos que apresentaram ajustes piores ao que se é considerado adequado foram em estações localizadas principalmente em sub-bacias de cabeceiras, como as estações identificadas como 6, localizada no rio Turvo Limpo, afluente do rio Piranga e 28, localizada no rio do Tanque, que apresentaram NASH considerados não satisfatórios e se encontram nas sub-bacias de cabeceiras 5 e 16, respectivamente. Já as estações que apresentaram os melhores valores das estatísticas de desempenho foram aquelas localizadas principalmente no rio principal. Os postos localizados nas regiões de cabeceira geralmente tendem a apresentar resultados piores em relação aqueles localizados no rio principal, visto que nos postos de jusante há uma compensação dos erros gerados nos postos de montante (PAIVA, 2009).

Valores de estatísticas similares aos encontrados neste trabalho também foram encontradas por Fagundes (2020), que aplicou o modelo para a bacia do rio Doce verificando que em 88%, 88% e 97% dos postos fluviométricos foram obtidos índices NASH, NASHILOG e ΔV , respectivamente, classificados ao menos como satisfatórios e por Lyra (2018), ao avaliar as estações localizadas principalmente ao longo do rio principal da bacia do rio Doce. Neste trabalho, para as estações localizadas no rio

principal, 100% dos valores das estatísticas de desempenho foram classificados ao menos como satisfatórios.

Da Figura 14 a Figura 17 são apresentados os hidrogramas observados e simulados em algumas das estações selecionadas na bacia do rio Doce. A partir das figuras, é possível visualizar graficamente a qualidade da calibração (1990 a 2014).

Figura 14 - Hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de calibração (1990 a 2014) para a estação 56990000 (São Sebastião da Encruzilhada).



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 15 - Comparação dos hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de calibração (1990 a 2014) para a estação 56990000 (São Sebastião da Encruzilhada). O Gráfico mostra resultados no período de 2000 a 2003 para uma melhor visualização.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 16 - Hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de calibração (1990 a 2014) para a estação 56992000 (Baixo Guandu).



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 17 - Comparação dos hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de calibração (1990 a 2014) para a estação 56992000 (Baixo Guandu). O Gráfico mostra resultados no período de 2005 a 2008 para uma melhor visualização



Fonte: Autoria própria (2019).

5.2 VALIDAÇÃO DO MÓDULO HIDROLÓGICO

A validação é utilizada para verificar a confiança nos parâmetros calibrados, portanto, após a etapa de calibração foi realizada uma validação dos parâmetros do modelo com dados no período de 1970 a 1989. Nessa etapa, também foi adotado o método Inercial (IN) de propagação de vazões. A Tabela 10 apresenta os resultados encontrados na etapa de validação

	Identifi	nene	Su	h-hacia	Feta	cão NAS		VCH I OG	۸V	
31/12/19 <u>8</u>	9).	baola	40		, 110	ponodo	40	anaayao		ŭ
selecionad	las na	bacia	do i	rio Doce	no e	período	de \	/alidacão	(01/01/1970	а
Tabela 10	- Estat	isticas	ae ae	sempeni	no cale	culadas p	bara a	s estaçoes	fluviometric	cas

Identificação	Sub-bacia	Estação	NASH	NASH LOG	$\Delta \mathbf{V}$
1	3	56028000	0,71	0,71	-14,34
2	2	56055000	0,70	0,64	-1,63
3	1	56065000	0,64	0,57	-3,33
4	4	56075000	0,76	0,74	-13,67
5	6	56085000	0,50	0,60	-11,29
6	5	56090000	0,50	0,47	-14,88
7	7	56110005	0,76	0,78	-13,36
8	8	56240000	0,65	0,64	-2,62
9	9	56335001	0,62	0,66	-7,10

Identificação	Sub-bacia	Estação	NASH	NASH LOG	$\Delta \mathbf{V}$
10	10	56337000	0,64	0,73	-14,25
11	27	56385000	0,60	0,40	1,17
12	28	56415000	0,72	0,71	-6,28
13	29	56425000	0,84	0,80	-6,73
14	31	56460000	0,66	0,18	-14,25
15	32	56484998	0,71	0,62	-17,40
16	30	56500000	0,57	0,15	0,48
17	33	56510000	0,71	0,69	-9,14
18	34	56539000	0,77	0,58	-9,46
19	35	56570000	0,51	0,55	-13,62
20	12	56610000	0,58	0,60	-24,14
21	11	56640000	0,62	0,52	-14,27
22	13	56659998	0,75	0,45	-26,71
23	15	56696000	0,65	0,62	-19,68
24	36	56719998	0,75	0,44	-3,90
25	17	56750000	0,53	0,59	-15,33
26	18	56765000	0,64	0,76	-11,32
27	20	56775000	0,78	0,64	-5,18
28	16	56787000	0,63	0,66	1,06
29	19	56800000	0,50	0,51	-11,30
30	22	56825000	0,78	0,39	-19,70
31	37	56845000	-1,04	-0,02	2,90
32	38	56846000	0,69	0,30	-16,91
33	41	56850000	0,80	0,68	-13,48
34	23	56860000	0,55	0,64	-2,52
35	24	56870000	0,07	0,43	-10,50
36	25	56891900	0,68	0,66	-12,76
37	42	56920000	0,80	0,68	-15,14
38	44	56935000	0,63	0,64	-5,08
39	45	56940002	0,65	0,72	-8,49
40	46	56960005	0,68	0,65	-7,53
41	47	56976000	0,65	0,65	-21,37
42	51	56978000	0,66	0,69	-22,01
43	48	56983000	0,44	0,56	-14,07
44	49	56988500	0,68	0,76	0,06
45	50	56989001	0,68	0,63	-13,71
46	51	56989400	0,82	0,79	-0,32
47	51	56990000	0,82	0,64	-16,23
48	52	56990990	0,70	0,50	-4,18
49	53	56991500	0,58	0,42	-2,47
50	54	56992000	0,70	0,58	-6,00
51	57	56993551	0,69	0,58	-12,90
52	59	56994500	0,73	0,06	-6,13
53	59	56994510	0,57	0,04	-23,23
54	56	56995500	0,75	0,59	2,91

Fonte: Autoria própria (2019).

Na etapa de validação, as estatísticas calculadas para cada estação também indicaram que os resultados do modelo foram bons. A partir dos resultados obtidos é possível verificar que, considerando a classificação de Moriasi et al. (2007), em 94% das estações os valores do NASH foram classificados pelo menos como satisfatórios, sendo que em 24% dos postos os valores foram classificados como muito bom e em 39% como bom. Para o NASHLOG quase 76% das estações foram obtidos valores classificados ao menos como sendo satisfatórios e em 28% os valores foram considerados bons, o que são percentuais ligeiramente inferiores aos obtidos na calibração. Para o erro de volume, 54% das estações apresentaram valores de estatísticas considerados como muito bom.

Ao se comparar os resultados do período de validação com o de calibração, os valores das estatísticas melhoraram para alguns postos e pioraram para outros, mas ainda assim os valores de vazões estimados pelo modelo apresentaram boa concordância com os observados. Da Figura 18 a Figura 20 é mostrada uma espacialização dos resultados das estatísticas na bacia do rio Doce no período da validação (1970 a 1989) e da Figura 21 a Figura 24 são apresentados os hidrogramas comparando os resultados observados e simulados.

Figura 18 - Coeficiente de NASH calculado para estações as fluviométricas consideradas neste estudo no período de validação (1970 a 1989) representadas pelos círculos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 19 - Coeficiente de NASHLOG calculado para estações fluviométricas consideradas neste estudo no período de validação (1970 a 1989) e representadas pelos círculos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 20 - Erro de volume (ΔV) calculado para estações fluviométricas consideradas neste estudo no período de validação (1970 a 1989) e representadas pelos círculos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 21 - Hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de validação (1970 a 1989) para a estação 56990000 (São Sebastião da Encruzilhada).



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 22 - Comparação dos hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de validação (1970 a 1989) para a estação 56990000 (São Sebastião da Encruzilhada). O Gráfico mostra resultados no período de 1975 a 1978 para uma melhor visualização.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 23 - Hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de validação (1970 a 1989) para a estação 56992000 (Baixo Guandu), para os modelos de MC e IN.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 24 - Comparação dos hidrogramas de vazões diárias observadas e simuladas no período de validação (1970 a 1989) para a estação 56992000 (Baixo Guandu). O Gráfico mostra resultados no período de 1975 a 1978 para uma melhor visualização.



Fonte: Autoria própria (2019).

5.3 EROSIVIDADE DA CHUVA

Para a aplicação das equações USLE-M e RUSLE2 foi estimado o fator de erosividade da chuva, que é um índice que expressa o potencial da chuva em causar erosão no solo (NEARING et al., 2017).

Para este cálculo, foi utilizado uma equação geral proposta por Richardson et al. (1983) que estima o termo de erosividade a partir de dados diários de precipitação.

Para realizar o cálculo da erosividade diária, foi necessário definir o valor a ser considerado como chuva erosiva. Conforme explicado no item 4.6.2, existem diferentes classificações para chuva erosiva e, buscando identificar a que melhor se aplica neste estudo, foi realizado um teste calculando a erosividade diária considerando 3 valores diferentes de chuva erosiva: aquela com mais de 6 milímetros (mm) de precipitação no dia; mais de 10mm no dia; e mais de 12mm no dia. Para isso, os resultados de CSS estimados com a simulação do modelo MGB-SED sem calibração, adotando as equações da USLE-M e RUSLE2 e os diferentes valores de chuva erosiva para cálculo da Erosividade, foram comparados com os dados de CSS observados. Para a análise dos resultados, foram consideradas as estatísticas NASH e coeficiente de correlação linear de Pearson (r).

Os valores simulados de CSS, considerando as três classificações de chuva erosiva para calcular a erosividade diária, foram próximos e com uma diferença mínima no valor de 0,01 em algumas estações nas estatísticas dos coeficientes NASH e de correlação linear de Pearson. A partir dessa análise, mesmo com uma diferença pequena, a chuva erosiva que apresentou os melhores resultados de CSS quando comparados com os dados observados foi aquela quando choveu ao menos 6 mm no dia, logo, esta foi a chuva erosiva considerada neste trabalho. Dessa forma, a seguir serão apresentados os valores de erosividade diária estimados considerando a chuva erosiva selecionada (6 mm).

Com base na metodologia proposta por Richardson et al. (1983), foram obtidas regressões lineares para cada uma das séries históricas de precipitação estabelecidas nas 1488 minibacias usando a equação 29 ($\log EI = \log a + b \log P + \in$), com os 91

dados mensais de erosividade de referência (El de referência) e os dados de precipitação diários acumulados mensalmente, tendo como resultado os coeficientes *a* e *b* e o resíduo (€). Cada série histórica de chuva das minibacias foi dividida em duas, uma para o período seco (abr-set) e outra para o período chuvoso (out-mar) e para cada uma delas foi obtida a regressão linear. Esse procedimento foi feito para os dados obtidos no período de calibração (1990 a 2014) e de validação (1970 a 1989) dos parâmetros do modelo de sedimentos, ambos com período com mais de 15 anos de dados. As regressões apresentaram um alto coeficiente de determinação (R²) para todas as minibacias e para ambos os períodos (seco e chuvoso). Os valores de R² máximos, mínimos e médios encontrados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores máximos, mínimos e médios dos coeficientes de determinação (R²) encontrados na regressão para os períodos de calibração e validação.

ximo Míni	imo Média	Máximo	Mínimo
9 0,89	0,98	0,99	0,91
9 0,88	0,98	0,99	0,92
(9 0,89 9 0,88	9 0,89 0,98 9 0,88 0,98	9 0,89 0,98 0,99 9 0,88 0,98 0,99

Fonte: Autoria própria (2019).

O alto coeficiente de determinação encontrado indica uma boa correlação entre a regressão logarítimica dos dados do log de EI de referência e os dados de log da chuva. No Anexo D estão apresentados os coeficientes de regressão encontrados para todas as minibacias.

Assim como encontrado por Richardson et al. (1983), os valores do coeficiente *b* não variaram muito entre aos períodos secos e úmidos, apresentando valores próximos. Já os valores do coeficiente *a* foram maiores para o período úmido em relação ao período seco, o que se esperaria devido a maior ocorrência de chuva do período úmido.

A Tabela 12 mostra os valores dos coeficientes *a* e *b* máximos e mínimos obtidos das 1488 minibacias, nos períodos seco e úmido. Os valores desses coeficientes em cada período e para cada minibacia está no anexo D.
Coofician	t aa	Período	o seco	Período	úmido
Coencien	les	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
1070 - 1000	а	1,43	0,47	2,29	0,62
1970 a 1969	b	1,58	1,38	1,53	1,28
1000 - 2014	а	1,34	0,55	1,74	0,65
1990 a 2014	b	1,59	1,38	1,50	1,33

Tabela 12 - Valores máximos, mínimos e médias dos coeficientes *a* e *b* considerando todas as minibacias nos períodos seco e úmido para a calibração e validação.

Fonte: Autoria própria (2019).

Para cada minibacia foi encontrado uma série diária de erosividade a partir dos dados de precipitação diários. Como exemplo, a Figura 25 mostra o percentual acumulado da erosividade média mensal em algumas minibacias para o período de calibração (1990 a 2014) e a Figura 26 mostra a variação entre o El calculado e o El de referência do valor médio anual, no mesmo período. As minibacias escolhidas para apresentar resultados foram aquelas onde possuíam postos sedimentométricos.

A Figura 27 e a Figura 28 mostram, respectivamente, o percentual acumulado da erosividade média mensal em minibacias e a variação entre o EI calculado e o EI de referência do valor médio anual no período de validação (1970 a 1989).

Figura 25 - Percentual acumulado da erosividade média mensal nas minibacias onde estão localizados os postos sedimentométricos 23 (estação 56992000 – Baixo Guandu) e 21 (estação 5699090 – Afonso Cláudio Montante) no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 26 - A variação entre a erosividade média mensal de referência e calculada nas minibacias onde estão localizados os postos sedimentométricos 23 (estação 56992000 – Baixo Guandu) e 21 (estação 56990900 – Afonso Cláudio Montante) no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 27 - Percentual acumulado da erosividade média mensal nas minibacias onde estão localizados os postos sedimentométricos 14 (estação 56860000 – São Pedro do Suaçuí) e 27 (estação CEMIG) no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 28 - A variação entre a erosividade média mensal de referência e calculada nas minibacias onde estão localizados os postos sedimentométricos 14 (estação 56860000 – São Pedro do Suaçuí) e 27 (estação CEMIG) no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2019).

A Figura 25 e a Figura 27 apresentam o percentual acumulado da erosividade média mensal nas minibacias e mostram a similaridade entre os resultados encontrados. Já na Figura 26 e na Figura 28, observa-se que a distribuição sazonal dos dados de El de referência teve um pico durante o período úmido e a erosividade calculada (El calculado) teve um padrão sazonal semelhante. Neste mesmo período também pode ser observado a diferença dos valores entre o El de referência e o El calculado, onde o El calculado apresentou valores menores em todas as estações. Já os valores para os meses secos foram bem próximos.

Essa diferença entre os valores de erosividade calculado e de referência também foram encontrados por Elsenbeer (1993) e pode estar relacionado ao fato de a regressão linear ser realizada com a equação logarítmica, mas ainda assim pode-se considerar a metodologia como uma ferramenta útil para o cálculo da erosividade diária. Como os coeficientes *a e b* encontrados por meio da regressão com a equação logarítmica são proporcionais ao volume de chuva, quanto maior o volume de chuva, maior a diferença entre a erosividade calculada e a de referência.

Como efeito de comparação, a Erosividade média anual na estação 56994500, localizada no município de Colatina-ES, foi estimada em 4.524 MJ.mm.(há.ano)⁻¹, o que é um valor muito próximo dos 4.995 MJ.mm.(ha.ano)⁻¹ obtido pelo programa NET EROSIVIDADE-ES (MOREIRA et al., 2012). O NET EROSIVIDADE-ES foi desenvolvido computacionalmente para estimativa de valores médios mensais e anuais da erosividade da chuva (R) no Estado do Espírito Santo utilizando de redes neurais artificiais (RNAs).

5.4 MODELAGEM DE SEDIMENTOS

5.4.1 Resultados sem calibração

Neste tópico são apresentados, resumidamente, os resultados do modelo sem calibração, no período de 1990 a 2014. O objetivo foi avaliar os resultados considerando os parâmetros originais de cada equação proposta neste trabalho.

As estatísticas utilizadas para a comparação da CSS e QSS simulada com os dados observados foram o coeficiente de determinação (R²), coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e o viés percentual (percent bias - PBIAS).

Para a maioria das estatísticas, verifica-se um melhor ajuste entre os resultados das descargas de sedimentos em suspensão (QSS) observadas e simuladas com as três equações, em relação aos resultados de concentrações de sedimentos em suspensão (CSS), uma vez que variável QSS modula as concentrações de acordo com as vazões.

Em 70% das estações, os resultados de QSS encontrados utilizando a equação da MUSLE apresentaram coeficiente R² maiores que 0,50, considerado satisfatório neste trabalho, de acordo com critério definido por Moriasi et al. (2007). Já nos resultados a USLE-M, 55% das estações apresentaram valores acima de 0,50, enquanto que com a RUSLE2 o percentual foi de 48%. Nas estatísticas de comparação dos resultados de CSS com os dados observados, 37% das estações apresentaram valores de R² maiores que 0,50 utilizando a MUSLE, 26% com a USLE-M e 12% com a RUSLE2.

Para a análise dos valores do coeficiente r, também foram considerados resultados satisfatórios aqueles acima de 0,50 (MORIASI et al., 2007). Os coeficientes r obtidos comparando as descargas sólidas observadas e as simuladas com as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2 foram, respectivamente, 85%, 81% e 70% das estações apresentaram ajustes com valores de r maiores que 0,50. Nos resultados de CSS a quantidade de estações com valores do coeficiente r acima de 0,50 foram de 78%, 63% e 36% para os resultados encontrados com a equação da MUSLE, USLE-M e RUSLE2, respectivamente.

Para o PBIAS foram consideradas faixas de valores para classificação dos resultados onde PBIAS $\leq \pm 15,0$ indica resultados muito bom, valores $\pm 15,0$ <PBIAS $\leq \pm 30,0$ são considerados bons, entre $\pm 30,0$ < PBIAS $\leq \pm 45,0$ são satisfatórios, $\pm 45,0$ < PBIAS $\leq \pm 60,0$, são aceitáveis e PBIAS > $\pm 60,0$ são não satisfatórios. Os melhores valores de PBIAS foram obtidos com a equação da MUSLE, tanto para a descarga sólida como para a concentração de sedimentos em suspensão, onde 65% das estações

apresentaram valores classificados ao menos como aceitáveis para CSS e 57% para QSS. Os resultados obtidos com o modelo utilizando a equação da RUSLE2 apresentaram 40% e 37% das estações com valores aceitáveis para CSS e QSS. Já os resultados encontrados com o modelo utilizando a equação da USLE-M apresentaram os menores valores de PBIAS, com 29% das estações apresentando valores satisfatórios para os resultados de QSS e 28% para os resultados de CSS.

5.4.2 Calibração e Validação

• Calibração do módulo de sedimentos

O processo de calibração do módulo de sedimentos do MGB-SED foi realizado nas 27 estações sedimentométricas selecionadas (Tabela 3) com dados no período de 1990 a 2014, sendo realizado de forma manual para cada equação proposta, MUSLE, USLE-M e RUSLE2, iniciando pelas sub-bacias de montante até as de jusante. Os parâmetros calibráveis do módulo de sedimentos do modelo MGB-SED são o coeficiente de retardo do escoamento superficial (parâmetro TKS), e os coeficientes a e b presentes na equação da MUSLE (WILLIAMS, 1975). Tais parâmetros foram calibrados conforme metodologia apresentada por FAGUNDES (2018). As equações USLE-M e RUSLE2 possuem associados a elas uma SDR, que foi calibrada variando o coeficiente de multiplicação existente em sua equação pra seu cálculo (Equação 40). Diferentemente do módulo hidrológico, o módulo de sedimentos foi calibrado considerando o método inercial de propagação de vazões, visto que os parâmetros de calibração independem do método de propagação das vazões.

Na Tabela 13 e na Tabela 14 são apresentadas as estatísticas de desempenho na etapa de calibração dos parâmetros do módulo de sedimentos do modelo MGB-SED, considerando as variáveis concentrações de sedimentos em suspensão (CSS) e descarga sólida em suspensão (QSS), respectivamente. Os resultados encontrados com o modelo MGB-SED após a calibração do módulo de sedimentos com as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2 foram representados com a nomenclatura MUS, USL e RUS, respectivamente.

Os valores das estatísticas calculadas correspondem à comparação entre as concentrações de sólidos suspensos e as descargas sólidas observadas nos postos de sedimentos e simuladas pelo modelo. Nos resultados apresentados a seguir, as células em negrito indicam NASH \geq 0,0, PBIAS \leq ±60,0, r \geq 0,5 e R2 \geq 0,5, todos considerados pelo menos como aceitáveis/satisfatórios, conforme critérios definidos no item 4.7.1.

estações d	com da	ados d	e conc	centraç	çao de	seain	nentos	s em s	uspens	sao sel	eciona	das na	
bacia do ri	o Doc	e, para	a o pe	ríodo c	le cali	bração	o (199	0 a 20	14).				
CÓDICO	NASH			R ²				r		PBIAS			
CODIGO	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	
56075000	0,54	0,41	0,39	0,61	0,66	0,57	0,78	0,81	0,75	29,91	57,62	49,23	
56110005	0,55	0,33	0,21	0,64	0,48	0,31	0,80	0,69	0,35	35,11	40,94	54,53	
56335001	0,17	-0,06	-0,05	0,28	0,16	0,18	0,53	0,41	0,42	56,21	79,67	90,52	
56415000	0,46	0,55	0,47	0,47	0,70	0,52	0,69	0,84	0,72	10,66	52,17	29,53	
56425000	0,01	-0,21	-0,37	0,25	0,19	0,07	0,51	0,44	0,27	53,96	67,59	64,34	
56539000	0,43	0,24	0,15	0,46	0,54	0,19	0,68	0,74	0,44	23,36	62,19	36,64	
56696000	0,56	0,42	0,39	0,72	0,76	0,66	0,85	0,87	0,81	39,94	60,04	61,72	
56775000	0,13	0,10	0,06	0,17	0,22	0,13	0,41	0,47	0,36	29,94	66,68	14,40	
56787000	0,11	0,05	-0,08	0,25	0,16	0,12	0,50	0,40	0,34	62,38	63,01	39,57	
56800000	0,51	0,41	0,39	0,60	0,63	0,50	0,78	0,79	0,70	45,73	61,33	47,00	
56825000	-0,12	-0,14	-0,16	0,01	0,00	0,00	0,07	0,01	-0,01	42,06	79,08	66,48	
56846000	-0,21	-0,27	-0,25	0,00	0,00	0,00	0,03	-0,06	-0,03	74,72	93,22	86,14	
56850000	0,67	0,41	0,39	0,76	0,71	0,62	0,87	0,84	0,79	22,03	59,36	52,11	
56860000	0,46	-0,12	-0,27	0,54	0,06	0,01	0,74	0,24	0,07	-23,31	65,18	69,61	
56891900	0,46	0,18	0,14	0,36	0,37	0,18	0,60	0,61	0,45	-38,8	54,94	27,12	
56915500	0,49	0,48	0,25	0,55	0,57	0,38	0,74	0,76	0,62	30,72	12,43	33,46	
56920000	0,08	0,08	0,05	0,01	0,00	0,00	0,09	0,02	0,07	57,10	68,33	65,67	
56935000	0,44	0,17	0,09	0,54	0,35	0,15	0,73	0,59	0,39	34,87	70,73	59,67	
56948005	0,38	-0,01	-0,04	0,45	0,37	0,12	0,67	0,61	0,35	33,31	70,50	57,09	
56990000	0,41	0,13	0,07	0,41	0,29	0,17	0,64	0,54	0,41	17,83	43,15	33,81	
56990990	0,72	0,64	0,31	0,75	0,74	0,41	0,87	0,86	0,64	0,54	49,09	35,29	
56991500	0,32	0,14	0,01	0,34	0,26	0,13	0,59	0,51	0,36	29,74	62,95	91,54	
56992000	0,35	0,12	0,12	0,42	0,36	0,28	0,65	0,60	0,53	34,65	61,51	51,58	
56994500	-0,07	0,08	-0,18	0,20	0,20	0,06	0,45	0,45	0,25	-17,16	48,70	19,40	
56995500	-0,15	-0,27	-0,54	0,16	0,17	0,12	0,40	0,42	0,34	39,61	63,26	34,93	
56998400	0,57	0,51	0,26	0,64	0,59	0,38	0,80	0,77	0,62	23,61	39,01	15,27	
CEMIG	0,40	0,15	0,11	0,35	0,31	0,17	0,59	0,56	0,41	18,73	60,72	43,11	

Tabela 13 - Valores das estatísticas de desempenho calculados para cada uma das ah saheh m concentração de sedim

Fonte: Autoria própria (2020).

		NASH			R ²			r		PBIAS		
CODIGO	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS
56075000	0,50	0,48	0,46	0,59	0,57	0,57	0,77	0,75	0,75	22,13	50,26	48,66
56110005	0,36	0,23	0,15	0,42	0,32	0,23	0,65	0,57	0,43	39,47	43,93	47,17
56335001	0,20	0,07	0,11	0,25	0,16	0,20	0,50	0,40	0,44	52,47	70,05	74,72
56415000	0,74	0,69	0,61	0,83	0,89	0,81	0,91	0,94	0,90	15,25	44,81	15,82
56425000	0,40	0,27	0,14	0,50	0,37	0,26	0,70	0,60	0,51	52,73	61,01	65,20
56539000	0,54	0,33	0,32	0,66	0,70	0,46	0,81	0,83	0,68	22,20	60,40	43,09
56696000	0,50	0,38	0,32	0,91	0,89	0,83	0,94	0,95	0,91	59,05	66,04	73,81
56775000	0,50	0,39	0,50	0,52	0,62	0,54	0,72	0,79	0,74	23,67	62,10	41,81
56787000	0,03	-0,44	-1,66	0,11	0,04	0,03	0,34	0,20	0,17	54,60	43,12	7,27
56800000	0,75	0,58	0,49	0,78	0,65	0,55	0,89	0,80	0,74	35,97	51,86	46,64
56825000	0,17	0,03	0,04	0,22	0,20	0,16	0,47	0,44	0,40	35,80	76,37	70,61
56846000	-0,07	-0,13	-0,12	0,05	0,00	0,00	0,21	0,05	0,02	85,79	97,16	92,92
56850000	0,72	0,50	0,43	0,76	0,69	0,74	0,87	0,83	0,86	30,71	62,08	63,25
56860000	0,66	0,10	-0,01	0,83	0,31	0,05	0,91	0,56	0,23	18,40	76,61	80,84
56891900	0,66	0,41	0,33	0,67	0,63	0,59	0,82	0,79	0,77	-17,8	46,09	34,52
56915500	0,87	0,83	0,78	0,89	0,84	0,79	0,94	0,91	0,89	12,68	0,65	13,96
56920000	-0,08	-0,11	-0,09	0,01	0,00	0,01	0,07	0,01	0,07	81,68	79,21	85,99
56935000	0,80	0,63	0,50	0,81	0,66	0,52	0,90	0,82	0,72	3,41	45,08	24,29
56948005	0,80	0,36	0,31	0,85	0,77	0,56	0,92	0,87	0,75	16,95	63,64	54,81
56990000	0,53	0,18	0,19	0,70	0,25	0,24	0,84	0,50	0,49	41,50	39,93	52,64
56990990	0,92	0,85	0,72	0,92	0,92	0,80	0,96	0,96	0,89	-7,38	33,18	29,89
56991500	0,61	0,51	0,35	0,66	0,55	0,44	0,81	0,74	0,66	13,87	44,97	95,81
56992000	0,48	0,30	0,29	0,53	0,41	0,40	0,73	0,64	0,64	17,77	41,44	33,29
56994500	0,45	0,20	0,19	0,46	0,32	0,22	0,68	0,56	0,57	-4,49	59,14	37,32
56995500	0,63	0,53	0,45	0,68	0,71	0,50	0,82	0,84	0,70	29,37	53,27	32,36
56998400	0,83	0,75	0,69	0,99	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	36,98	47,96	47,18
CEMIG	0,54	0,33	0,27	0,55	0,50	0,41	0,75	0,70	0,64	23,11	60,58	55,18

Tabela 14 - Valores das estatísticas de desempenho calculados para cada uma das estações com dados de descarga sólida selecionadas na bacia do rio Doce, para o período de calibração (1990 a 2014).

Fonte: Autoria própria (2020).

Da Figura 29 a Figura 32 é mostrada a espacialização dos resultados das estatísticas de avaliação obtidas entre as concentrações de sedimentos em suspensão (CSS) simuladas e observadas para o período de calibração (1990-2014). Já da Figura 33 a Figura 36 é apresentada a espacialização das estatísticas de avaliação entre as descargas sólidas (QSS) simuladas e observadas no mesmo período.

Figura 29 - Coeficientes de Nash-Sutcliffe (ENS) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 30 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 31 – Coeficientes de determinação (R²) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 32 – Coeficentes de viés percentual (PBIAS) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 33 - Coeficientes de Nash-Sutcliffe (ENS) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 34 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 35 – Coeficientes de determinação (R²) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 36 – Coeficentes de viés percentual (PBIAS) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de calibração (1990 a 2014).



Fonte: Autoria própria (2020).

Ao analisar as estatísticas obtidas em cada uma das estações de sedimentos, considerando qualquer uma das três equações de perda de solo avaliadas, observase um melhor ajuste do modelo para os resultados de QSS em relação aqueles das CSS, uma vez que a QSS modula as concentrações de acordo com as vazões.

Moriasi et al. (2007) definiu critérios para classificação dos valores do coeficiente NASH, porém, considerando que os dados de sedimentos disponíveis para este estudo possuem medições com uma variabilidade temporal muito baixa (máximo de quatro medições anuais) em relação aos resultados diários das simulações, as faixas de valores sugeridas pelos autores, além de terem sido estabelecidas considerando dados médios mensais, podem ser muito limitantes. Por isso, esse trabalho não adota o NASH para classificar os valores encontrados, mas para uma avaliação qualitativa da calibração do modelo. Comparando os valores de NASH encontrados em cada estação é possível identificar os locais onde a calibração foi melhor ou pior, e entre os resultados encontrados com as três equações, avaliando qual delas obteve os melhores resultados.

Em relação aos valores de NASH, tanto para as CSS quanto para as QSS, mais de 66% dos resultados obtidos com a equação da MUSLE apresentaram valores acima de 0,20, sendo que para QSS esse percentual foi de 85%. Com as equações da USLE-M e RUSLE2, respectivamente, 74% e 63% dos resultados encontrados para QSS apresentaram valores de NASH acima de 0,2, e para CSS esse percentual foi de 37 % e 33%, respectivamente. No entanto, para os resultados de QSS observa-se que 78%, 41% e 37% das estações apresentaram ajustes com NASH acima de 0,4, quando utilizado as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2, respectivamente, enquanto para as CSS, essa porcentagem foi de 56%, 30% e 4%.

Assim como na simulação hidrológica, é possível observar na Figura 29 e na Figura 33 que em estações localizadas em sub-bacias de cabeceira, como as estações 56787000 – Fazenda Barraca (9) e 56335001 – Acaiaca Jusante (3), ou em estações localizadas em sub-bacias com uma menor área de drenagem, como a 56825000 – Naque Velho (11), foram encontrados os piores ajustes do coeficiente NASH. Entre as estações que apresentaram os melhores ajustes, pode-se citar as 56850000 –

Governador Valadares (13) e 56569000 – Cachoeira dos Óculos Montante (6), localizadas no rio principal, o rio Doce e 56110005 – Ponte Nova Jusante (2), localizada no rio Piranga.

Para o coeficiente r, foram considerados resultados satisfatórios aqueles com valores acima de 0,50, seguindo classificação de Moriasi et al. (2007). Os coeficientes obtidos com a comparação dos dados observados de QSS com os resultados encontrados com as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2, respectivamente, indicaram que cerca de 85%, 81% e 70% das estações apresentaram valores de r maiores que 0,50. Nos resultados de CSS a quantidade de estações com valores do coeficiente r acima de 0,50 foi de 78%, 63% e 33% ao considerar as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2, respectivamente. Na Figura 30, observa-se que em algumas estações apenas a equação da MULSE obteve resultados satisfatórios do coeficiente r para as CSS, como na estação 56425000 – Fazenda Cachoeira D'antas (5), 56860000 – São Pedro do Suaçuí (14) e 5633001 - Acaiaca Jusante (3). Já na Figura 34, que mostra os resultados para QSS, observa-se que quase todas as estações ao longo do rio principal apresentaram valores acima de 0,50 para as três equações utilizadas.

Os resultados de QSS encontrados utilizando a equação da MUSLE indicaram que 74% das estações apresentaram valores do coeficiente R² maiores que 0,50, considerado bom de acordo com critério definido por Moriasi et al. (2007). Já nos resultados encontrados com a USLE-M e a RUSLE, cerca de 59% e 48%, respectivamente, das estações apresentaram valores acima de 0,50. Ao comparar os resultados simulados de CSS com os dados observados, cerca 37% das estações apresentaram valores de R² maiores que 0,50 ao considerar a equação da MUSLE como fonte de produção de sedimentos, 33% com uso da USLE-M e 19% com a RUSLE2. Na Figura 31 e na Figura 35, observa-se que menos estações apresentaram valores satisfatórios em comparação com os outros coeficientes estatísticos. As estações que apresentaram melhores resultados também apresentam valores melhores nas outras estatísticas, como as estações 5607500 – Porto Firme (1), 56800000 – Senhora do Porto (10), 56850000 – Governador Valadares (13) e 56995500 – Ponte do Pancas (25).

Para o PBIAS foram consideradas faixas de valores para classificação dos resultados onde valores de PBIAS $\leq \pm 15,0$ foram considerados muito bom, valores $\pm 15,0$ <PBIAS $\leq \pm 30,0$ considerados bons, valores entre $\pm 30,0$ <PBIAS $\leq \pm 45,0$ satisfatórios, $\pm 45,0$ <PBIAS $\leq \pm 60,0$, aceitáveis, e $\pm 60,0$ <PBIAS, não satisfatórios. Os melhores valores de PBIAS encontrados foram para os resultados obtidos com a equação da MUSLE, tanto para QSS como para CSS, com mais de 93% das estações com valores classificados ao menos como aceitáveis. Para CSS e QSS, respectivamente, 41% e 55% das estações apresentaram valores de PBIAS classificados como bom. Os resultados obtidos utilizando a equação da RUSLE2 apresentaram 67% das estações com valores ao menos como aceitáveis para ambas comparações, sendo que para CSS e QSS, respectivamente, 19% e 15% dos resultados foram considerados como bons. Já os resultados encontrados com a Equação da USLE-M apresentaram as estatísticas mais baixas de PBIAS, com 55% das estações apresentaram as valores com a equação da USLE-M apresentaram as estatísticas mais baixas de PBIAS, com 55% das estações apresentando valores aceitáveis para os resultados de CSS e quase 4% com valores classificados como bom.

Na Figura 32, para a equação da MUSLE, todas as estações no rio principal tiveram resultados considerados ao menos aceitáveis. Na Figura 32 e na Figura 36, observaque para quase todas as estações o melhor PBIAS é obtido nos resultados da MUSLE, depois nos resultados encontrados pela RUSLE2 e, por último, da USLE-M.

A estação 56920000 – Tumiritinga (17), apesar de estar localizada no rio principal, apresentou valores não satisfatórios em quase todas as estatísticas, o que provavelmente está relacionado a baixa disponibilidade de dados disponíveis, com apenas 16 valores medidos no período de 1990 a 2014.

Essa diferença entre os valores dos coeficientes encontrados nos resultados com as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2 pode estar associada aos diferentes fatores de erosividade adotados pelas equações. A RUSLE2 utiliza o fator de erosividade da chuva diária (EI), enquanto que a USLE-M considera tanto a erosividade da chuva (EI) como o escoamento superficial. Porém, esses fatores podem não ter sido tão representativo na estimativa de perda de solo quanto a MUSLE, que utiliza o próprio escoamento superficial associado à uma taxa de pico do escoamento superficial. De

fato, alguns autores como Khaleghpanah et al. (2016), relatam a melhoria da capacidade de um modelo de estimar as variações na erosão/perda de solo quando sua equação de perda de solo inclui a consideração direta do escoamento superficial. Kinnell (1983), Kinnell (2014) e Kinnell (2017), por exemplo, também mostraram que o escoamento superficial um fator com maior influência na perda de solo do que o índice de erosividade da chuva (EI).

• Valores da taxa de transferência de sedimentos (SDR)

Para o cálculo do aporte de sedimentos com utilizando a equação da RUSLE2 e da USLE-M foi considerada a formulação para estimativa da taxa de transferência de sedimentos (SDR) já existente no modelo MGB-SED, a qual possui um coeficiente para calibração por sub-bacia. A calibração foi realizada de forma independente, uma para a RUSLE2 e uma para USLE-M. Os valores da taxa de entrega de sedimentos calibrados para cada uma das sub-bacias hidrográficas delimitadas neste estudo para a rio Doce estão apresentados na Tabela 15.

SUB-	ÁREA	SDR	SDR (%)		ÁREA	SDR (%)		
BACIA	(km²)	RUSLE2	USLE-M	BACIA	(km²)	RUSLE2	USLE-M	
1	310,26	2,37	2,37	31	714,43	9,92	9,92	
2	1112,25	5,98	5,98	32	682,66	10,13	10,13	
3	1409,33	7,05	7,05	33	303,86	3,02	3,02	
4	1472,11	9,51	13,31	34	2198,77	23,42	23,42	
5	333,54	2,1	2,1	35	863,72	5,12	5,12	
6	342,27	3,18	3,18	36	1763,83	7,85	7,85	
7	1281,46	7,27	5,09	37	1137,69	7,29	1,46	
8	985,75	13,85	19,38	38	940,79	1,02	5,1	
9	427,54	5,22	10,02	39	1696,53	10,55	5,28	
10	565,07	4,52	2,26	40	1730,65	9,3	27,9	
11	629,84	1,94	7,75	41	533,55	3,29	19,73	
12	1237,71	16,64	24,96	42	4028,06	22,88	22,88	
13	1215,27	14,34	19,12	43	611,92	3,19	3,19	
14	1601,31	22,6	31,64	44	216,53	0,78	1,01	
15	750,03	12,51	17,88	45	2400,2	12,95	12,95	
16	1279,23	4,97	6,46	46	1517,98	8,08	8,08	
17	321,38	1,08	1,08	47	771,97	4,22	4,22	
18	1161,29	5,24	5,24	48	585,36	1,45	1,45	
19	1615,5	4,4	4,84	49	855,73	2,27	2,27	
20	2647,96	45,31	45,31	50	1237,37	8,11	8,11	
21	2633,22	27,01	52,52	51	3797,64	21,92	32,88	
22	717,98	3,54	5,3	52	610,2	3,47	4,16	
23	2605,59	8,12	14,06	53	814,63	8,34	17	

Tabela 15 - Valores de taxa de entrega de sedimentos para as sub-bacias hidrográficas do rio Doce.

24	763,5	23,82	5,95	54	5304,91	26,32	26,32
25	6599,71	73,37	81,52	55	1246,6	3,14	3,84
26	801,08	5,15	5,15	56	936,75	2,61	2,61
27	534,87	2,71	2,71	57	893,09	6,31	6,31
28	1560,23	17,4	17,4	58	962,53	5,57	5,57
29	1907,17	12,38	18,16	59	949,49	4,28	5,56
30	277,33	2,43	2,43	60	3658,4	19,33	19,33

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 37 e a Figura 38 mostram a espacialização do SDR nas sub-bacias para as equações da USLE-M e RUSLE2. O cálculo do aporte de sedimentos com a RUSLE2 para a bacia hidrográfica do rio Doce indica que, em média, 10,37% dos sedimentos produzidos chegam ao exutório da sub-bacia, enquanto esse número é de 12,45% para a equação da USLE-M.

Figura 37 – Distribuição espacial do SDR obtido para cada sub-bacia com a equação da RUSLE2.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).



Figura 38 – Distribuição espacial do SDR obtido para cada sub-bacia para a equação da USLE-M.

Ao analisar o relevo da bacia (Figura 7) quando comparados com a distribuição do SDR nas sub-bacias, observa-se que, para as duas equações, os valores da SDR estão altamente relacionados a topografia. Os maiores valores da SDR são nos locais de maiores declividades assim como os menores valores estão nos locais de menores declividades.

• Validação do módulo de sedimentos

A validação do modelo foi realizada no período de 1970 a 1989, buscando avaliar os resultados do modelo calibrado ao aplica-lo em um período distinto daquele considerado na calibração. Das 27 estações identificadas na bacia, 8 delas possuíam dados disponíveis no período e foram utilizadas nesta etapa.

Como o objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial de aplicação de equações de perda de solo para uso em modelagem distribuída de grandes bacias, o período de validação foi utilizado apenas para uma confirmação que os parâmetros calibrados podem ser utilizados no modelo em outro período.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os valores das estatísticas calculadas correspondem à comparação entre as concentrações de sólidos suspensos e descargas sólidas observadas nos postos de sedimentos e simuladas pelo modelo, apenas nas datas em que há dados observados no período de calibração. Nos resultados apresentados a seguir, as células em negrito indicam NASH \ge 0,0, PBIAS $\le \pm 60,0$ r e R2 \ge 0,5, todos considerados pelo menos como aceitáveis/satisfatórios, conforme critérios definidos no item 4.7.1. Comparando-os com os resultados do período de validação com os do período de calibração, verifica-se que os valores das estatísticas melhoraram para alguns postos e pioraram para outros, mas ainda assim os valores estimados pelo modelo apresentaram boa concordância com os observados. Os resultados obtidos ao utilizar as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2 foram representados com a nomenclatura MUS, USL e RUS, respectivamente.

Tabela 16 - Valores das estatísticas de desempenho calculados para cada uma das estações com dados de concentração de sedimentos em suspensão selecionadas na bacia do rio Doce, para o período de validação (1970 a 1989).

CÓDIGO	NASH			R ²			r			PBIAS		
	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS
CEMIG	0,37	0,11	0,09	0,40	0,38	0,21	0,63	0,62	0,46	0,77	1,08	0,68
56110005	0,04	-0,14	-0,21	0,33	0,30	0,20	0,57	0,55	0,45	60,50	71,03	70,77
56335001	-0,21	-0,26	-0,26	0,02	0,02	0,01	0,15	0,13	0,08	38,86	44,04	43,21
56696000	0,15	-0,38	-0,57	0,35	0,22	0,09	0,59	0,47	0,31	49,06	65,15	61,50
56825000	-0,02	0,02	-0,02	0,27	0,17	0,14	0,52	0,41	0,37	-8,38	48,44	44,24
56891900	-0,93	0,27	-0,31	0,51	0,37	0,18	0,70	0,60	0,42	-84,25	26,92	4,90
56990000	0,36	0,21	-0,2	0,41	0,30	0,41	0,65	0,55	0,64	22,30	48,72	61,30
56994500	0,15	0,04	0,11	0,25	0,37	0,33	0,51	0,61	0,57	43,89	69,14	59,01

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 17 - Valores das estatísticas de desempenho calculados para cada uma das estações com dados de descarga sólida selecionadas na bacia do rio Doce, para o período de validação (1970 a 1989).

CÓDICO	NASH			R ²			r			PBIAS		
CODIGO	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS	MUS	USL	RUS
CEMIG	0,56	0,27	0,24	0,57	0,47	0,38	0,75	0,69	0,62	0,05	0,54	0,35
56110005	0,36	0,23	0,14	0,63	0,61	0,63	0,80	0,78	0,80	58,18	67,75	71,32
56335001	0,13	-0,08	-0,08	0,33	0,29	0,33	0,57	0,54	0,57	56,94	66,04	65,20
56696000	0,15	-0,14	-0,26	0,35	0,27	0,12	0,59	0,52	0,34	49,06	70,19	67,64
56825000	-0,06	0,00	-0,04	0,20	0,10	0,08	0,45	0,32	0,29	2,27	50,92	53,87
56891900	-0,32	-0,09	0,00	0,27	0,09	0,08	0,52	0,31	0,28	-66,11	25,81	29,65
56990000	0,47	0,42	0,18	0,91	0,85	0,39	0,95	0,92	0,63	58,53	63,53	64,66
56994500	0,15	0,10	0,13	0,40	0,32	0,29	0,63	0,58	0,54	13,08	51,56	44,19

Fonte: Autoria própria (2020).

Da Figura 39 a Figura 42 é mostrada a espacialização dos resultados das estatísticas de avaliação obtidos entre as CSS simuladas e observadas no período de validação (1970-1989) e da Figura 43 a Figura 46 é apresentado a espacialização dos resultados das estatísticas de avaliação para os resultados das QSS simuladas e observadas no mesmo período.

Figura 39 - Coeficientes de Nash-Sutcliffe (ENS) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 40 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 41 - Coeficientes de determinação (R²) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 42 - Coeficientes do viés percentual (PBIAS) das CSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 43 - Coeficientes de Nash-Sutcliffe (ENS) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 44 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 45 - Coeficientes de determinação (R²) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 46 - Coeficientes do viés percentual (PBIAS) das QSS simuladas e observadas, calculados para cada uma das estações sedimentométricas da bacia no período de validação (1970 a 1989).



Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados de CSS e QSS encontrados apresentaram valores das estatísticas de avaliação menores na maioria das estações, quando comparado aos valores no período de calibração, o que pode estar relacionado a fatores como diferenças nas variações anuais das chuvas durante os anos e na qualidade e variabilidade temporal dos dados medidos no passado. Na Figura 47, por exemplo, a variação anual da chuva na estação 01841001 indica que no período de validação (1970 a 1989) houve um volume de chuva maior na maioria dos anos em comparação como o período de calibração (1990 a 2014). Apesar disso, pode-se dizer que foram obtidos resultados considerados satisfatórios, com bons ajustes, dentro das limitações existentes em relação à disponibilidade de informação e qualidade e quantidade de dados de concentrações disponíveis. Exceção é feita para o coeficiente de determinação (r²), que para a CSS apresentou apenas uma estação com dados acima de 0,5 com a equação da MUSLE e nenhuma com a USLE-M e RUSLE2. Também deve-se destacar que algumas estações possuem poucos dados para validação, comprometendo o resultado encontrado.

Na estação 56994500 (Colatina) houve um aumento significativo das estatísticas e, na estação 56891900 (Vila Matias Montante), apesar de ter tido uma diminuição significativa do NASH, as demais estatísticas (R², r e PBIAS) melhoraram. Na estação Ouro Fino da CEMIG houve uma pequena redução nos valores dos coeficientes, ainda assim, os resultados das estatísticas foram considerados bons. Já nos valores das estatísticas dos resultados da QSS, os valores das estatísticas aumentaram em algumas estações e reduziram em outras.



Figura 47 – Variação anual da chuva na estação 01841001 - Vila Matias - Montante

5.4.3 Comparação dos resultados do modelo sem e com calibração

O processo de calibração influencia nos resultados obtidos pelas equações, embora tenha sempre buscado representar da melhor forma possível o comportamento hidrossedimentológico da bacia. Desta forma, aqui busca-se comparar os resultados obtidos com e sem a calibração dos parâmetros, para as três equações avaliadas.

Os resultados de CSS obtidos com o modelo calibrado e utilizando as equações da USLE-M e RUSLE2 apresentaram um aumento 7,4% na quantidade de estações com valores do coeficiente R² acima de 0,50, enquanto que para a MUSLE os resultados manteve-se com 33,3% das estações com valores de R² acima de 0,5. Para os resultados encontrados de QSS com o modelo calibrado e utilizando as equações da

Fonte: Autoria própria (2020).

MUSLE e USLE-M, houve um aumento de 3,7% no número de estações que apresentaram valores acima de 0,5 quando se comparado com os resultados sem calibração. Para os resultados obtidos com o MGB-SED com a equação da RUSLE2, em ambas as simulações o percentual foi igual.

Em relação ao coeficiente de correlação (r), também foram considerados resultados satisfatórios aqueles com valores acima de 0,50, seguindo a classificação de Moriasi et al. (2007). Os valores desse coeficiente encontrados pelo modelo com e sem calibração, para as três equações utilizadas neste trabalho, foram semelhantes. Para esse coeficiente, tanto os resultados de CSS quanto de QSS utilizando as equações MUSLE e USLE-M apresentaram igual percentual de estações com valores acima de 0,50. Para os resultados de CSS encontrados com o MGB-SED calibrado utilizando a RUSLE2, houve um aumento de 3% de estações com valores acima de 0,5 em relação ao modelo sem calibração, porém para a QSS esses valores foram iguais.

A maior diferença foi verificada ao analisar os valores de PBIAS. Os resultados obtidos com o modelo calibrado utilizando a equação da MUSLE, para CSS e QSS, indicaram um aumento de 28,1% e 35,6% das estações com valores classificados ao menos como aceitáveis em comparação com os resultados sem calibração. Para os resultados do modelo calibrado utilizando a USLE-M, esse aumento foi de 10% para CSS e 26% para QSS. Já com os resultados de CSS encontrados pelo modelo com a RUSLE2 calibrada, apresentaram quase 30% mais estações com valores classificados ao menos como aceitáveis, enquanto que para QSS esse valor foi de 26,6%.

Observa-se que para os coeficientes r e R², não foi observado uma diferença muito grande entre o modelo com e sem calibração. Para o coeficiente r que mede o grau correlação entre duas variáveis, foi obtido praticamente a mesma porcentagem de estações com valores considerados satisfatórios, logo, mesmo que os valores encontrados aumentem ou diminuam com os resultados com e sem calibração, a correlação dos dados continua existindo, o que pode justificar essa diferença mínima entre as estatísticas.

120

A melhora com a calibração foi vista principalmente no coeficiente PBIAS, que compara os volumes totais simulados e observados e aponta o quanto o simulado difere do observado. O valor ideal do PBIAS é zero, enquanto que valores positivos indicam uma subestimação do modelo e valores negativos uma superestimação. De acordo com Moriasi et al. (2007) o PBIAS também é usado para avaliar erros no balanço hídrico e a capacidade de identificar o baixo desempenho do modelo. Logo, com o maior percentual de estações com valores ao menos como aceitáveis de PBIAS foi encontrado com o modelo calibrado para ambas as equações, foi considerado que os resultados obtidos com a calibração apresentaram um melhor ajuste entre os dados observados e simulados. Para ambos os resultados (com calibração e sem calibração), as melhores estatísticas de desempenho foram aquelas do modelo simulado através da equação da MUSLE.

5.4.4 Transporte de sedimentos em suspensão nos rios

A análise da variabilidade diária dos fluxos de sedimentos em suspensão é importante para conhecer a sua dinâmica na bacia e nos trechos de rios. Com a falta de dados sobre a perda de solo na bacia, comparar os fluxos nos rios é uma forma de avaliar os resultados do modelo e, particularmente neste estudo, é uma forma de avaliar os resultados obtidos a partir de diferentes equações de perda de solo. Desta forma, nesta seção são apresentadas avaliações entre os valores observados e simulados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e de descarga sólida em suspensão (QSS), após realizada a calibração, em estações localizadas na bacia do rio Doce.

As equações utilizadas neste trabalho possuem parâmetros que interferem em seus resultados, tais como a taxa de transporte de sedimentos (SDR), a erodibilidade do solo, o fator de erosividade, os fatores de cobertura do solo, de práticas conservacionistas e topográfico. Cada parâmetro tem uma parcela de contribuição no resultado final da perda de solo e aporte de sedimentos. Para todas as equações, os fatores topográfico e de práticas conservacionistas foram considerados fixos, mas os fatores de erosividade (R), de erodibilidade (K) e de uso e cobertura do solo (C) variam entre elas.

Para auxiliar nas avaliações dos resultados do modelo, na Figura 48 a Figura 50 estão os valores médios anuais do período de calibração (1994 a 2014) encontrados para as variáveis que influenciam na perda de solo, como a precipitação e o escoamento superficial além dos parâmetros das equações, espacializados na bacia, buscando avaliar a influência de cada deles nos resultados obtidos. O fator de erodibilidade do solo usado na MUSLE possui unidade diferente daquele adotado na RUSLE2 e USLE-M, de forma que este fator será avaliado em termos da magnitude dos seus valores. Na MUSLE, o fator de erosividade foi representado pelo termo $a.(Qsup.qp .A)^b$ da equação 4, na RUSLE2 pelo termos *EI*.A e na USLE-M pelo fator Qr .EI.A da equação 6. O valor do fator C da USLE-M difere daqueles das demais equações devido à equação utilizar uma razão de escoamento que deve ser associada à uma situação com fator C = 1 (pousio nu) e P = 1 (cultivo para cima e para baixo na encosta), e ao utilizá-la em uma área vegetada o fator C deve ser aumentado senão resultaria em um valor de índice de erosividade muito baixo (KINNELL, 2019).

Os parâmetros LS (fator topográfico) e P (fator de práticas conservacionistas) não foram espacializados por terem os mesmos valores para as três equações utilizadas neste trabalho.



Figura 48 – Distribuição espacial da precipitação média na bacia (a) e dos fatores de erosividade médios da RUSLE2 (b), USLE-M (c) e MUSLE (d).





39°0'0"W



Figura 50 – Distribuição espacial do fator médio de uso e cobertura do solo da MUSLE e da RUSLE2(a) e da USLE-M (b).

Da Figura 51 a Figura 57 são apresentados os valores da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e da descarga sólida em suspensão (QSS) observadas nas estações de sedimentos da ANA no período de calibração (1990 a 2014), assim como as séries diárias dessas variáveis simuladas pelo modelo MGB-SED utilizando as três equações propostas, MUSLE, USLE-M e RUSLE2. Também estão indicados nas figuras os valores das estatísticas de desempenho dos resultados do modelo adotadas neste estudo: coeficiente de Nash-Sutcliffe (NASH), coeficiente de determinação (R²), coeficiente de correlação linear (r) e o viés percentual (PBIAS).

Figura 51 - Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação 56110500 (Ponte Nova Jusante) no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 1991 a 2001 e (b) 1994 a 2004 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A estação 56110005 (ponto 2) está localizada no rio Piranga, e é possível observar na Figura 51a e 51b que o comportamento sazonal dos valores de CSS e QSS medidos e observados foi representado de forma considerada satisfatória para as três equações utilizadas no modelo. Na Figura 51a e 51b também é possível observar, ao analisar os resultados da série histórica em comparação com os valores observados, que os valores obtidos com a MUSLE são mais próximos dos valores observados máximos e mínimos e que alguns valores obtidos com a RUSLE2 são superestimados em relação aos valores observados. Na sub-bacia na qual a estação está localizada, o valor do fator de erodibilidade do solo (K) é menor na RUSLE2 do que na MUSLE (Figura 49b e Figura 49d) e os valores de uso e cobertura do solo são iguais para ambas as equações (Figura 50a). Portanto, esses valores mais altos obtidos com a RUSLE2 do que os da MUSLE e da USLE-M não estão associados a estes fatores. Embora os valores do fator de erodibilidade do solo (K) sejam diferentes para cada equação devido a unidade considerada e a forma de cálculo, para a sua estimativa foi adotado um único conjunto de parâmetros de entrada (percentuais de silte, argila, areia e matéria orgânica) para todas as equações.

Ao observar a Figura 48b a 48d, verifica-se que os valores do fator de erosividade da USLE-M e da MUSLE na sub-bacia desta estação são mais baixos do que o fator de erosividade da RUSLE2, que apresentam valores entre 0-8000. Logo, os valores

estatísticos inferiores encontrados pela RUSLE2 em comparação com a MUSLE e com a USLE-M podem estar associados a essa superestimativa de alguns valores de CSS simulados, que provavelmente está relacionado aos valores mais elevados do fator de erosividade adotado pela RUSLE2. Os valores encontrados com a RUSLE2 e a USLE-M ainda serão associados no final do cálculo de todos os termos da equação a SRD. A diferença encontrada entre a USLE-M e a RUSLE2 não está associada à SDR pois a estação está localizada na sub-bacia 2, que possui a mesma SDR para as duas equações.

Assim, as melhores estatísticas obtidas com a MUSLE nesta estação estão, provavelmente, associadas ao fator de escoamento superficial considerado explicitamente na equação.

Figura 52 - Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação 56425000 (Fazenda Cachoeira D'antas) no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 2004 a 2014 e (b) 1998 a 2008 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.




Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na estação Fazenda Cachoeira D'antas (56425000), assim como na estação Ponte Nova Jusante, é possível observar que o comportamento sazonal dos valores de CSS e QSS (Figura 52a e 52b) medidos e observados foi bem representado para ambas as equações utilizadas no modelo.

Para essa estação foi desconsiderado uma medição realizada no dia 25/02/2008, porque ao ser analisado seu valor em relação as outras medições na estação e com suas respectivas descargas líquidas, considerou a medição um outlier.

Essa estação está localizada no rio principal (rio Doce) e logo após o reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Risoleta Neves. No entanto, neste trabalho não são considerados os efeitos dos reservatórios devido a uma limitação do modelo em representa-los, embora saiba-se que a tendência do reservatório é de reter os sedimentos de maior granulometria como areia e parte do silte e os sedimentos finos que permanecem mais tempo na água em suspensão tendem a escoar para jusante, alterando as relações dos sólidos em suspensão para jusante. A não consideração do efeito do reservatório pode estar associado às estatísticas mais baixas encontradas nesta estação quando comparadas a outras estações no rio principal. Fagundes (2018) também observou em seus resultados que os processos deposicionais, sejam em canais, sejam em reservatórios possuem certa influência na dinâmica dos sedimentos em suspensão. Em seu trabalho, Fagundes (2018) ressaltou que as

estações localizadas a jusante de reservatórios apresentaram valores de correlação inferiores a 0,50, exceto o reservatório existente no rio Piracicaba.

No entanto, ainda assim, como observado em outras estações, os valores estatísticos obtidos com a equação da MUSLE foram melhores que os encontrados com a USLE-M e RUSLE2, tanto para CSS quanto para QSS. A USLE-M apresentou estatísticas melhores que a RUSLE2. De acordo com Kinnell (2017), os valores encontrados com a USLE-M mudam significativamente em função da estimativa do escoamento superficial utilizado em seu cálculo. Quando o escoamento utilizado na equação é bem estimado, os resultados encontrados apresentam um melhor ajuste. As estatísticas encontradas neste estudo para a modelagem hidrológica indicaram bons resultados do modelo (ver item 5.1). Para esta estação, por exemplo, foram estimados valores estatísticos de NASH e NASHlog maiores que 0,80, o que indica um bom cálculo do escoamento superficial.

Ao analisar os mapas, da Figura 48a a Figura 48d, observa-se que na sub-bacia onde está localizada a estação (ponto 5) o volume médio anual da precipitação no período de análise foi alto, além dessa sub-bacia apresentar valores do fator de erosividade para a RUSLE2 mais altos que para MUSLE e pela USLE-M. Por outro lado, em diversos valores observados de CSS e QSS, a MUSLE apresentou valores simulados mais próximos dos valores máximos observados. Os valores de erodibilidade da equação da MUSLE é maior que o da USLE-M, que é maior que o da RUSLE2. Logo, a diferença entre os valores simulados entre as equações e os valores estatísticos nesta estação pode estar associada ao fator de erodibilidade. O fator de uso e cobertura do solo é o mesmo para as equações da MUSLE e da RUSLE2 e um pouco maior para a USLE-M e com o resultado encontrado não há como relacionar a diferença observada a esse fator. O valor da SDR é um pouco mais alto nesta estação para a equação da USLE-M do que na RUSLE2, porém, ao aumentar a SDR para a RUSLE2 os valores das estatísticas não aumentam, de forma que essa diferença de valores simulados entre as equações e os valores estatísticos nesta estação não aparenta ter como principal causa o SDR.

Figura 53 - Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação 56539000 (Cachoeiro dos Óculos Montante) no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 2000 a 2010 e (b) 2004 a 2014 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A estação Cachoeira dos Óculos Montante está localizada no rio principal (rio Doce) e a distribuição temporal das concentrações de sedimentos em suspensão e 131 descargas sólidas simuladas se assemelha à da observada, sendo que os resultados com a MUSLE apresentam os valores mais próximos aos valores observados, se ajustando bem aos valores máximos e mínimos, representando assim a sazonalidade dos fluxos de sedimentos na estação. Os valores dos dados observados apresentaram de QSS apresentaram uma média de aproximadamente 3323 t/ano, já a MUSLE apresentou a média mais próxima aos valores observados, de 2585 t/ano, a RUSLE2 de 1891 t/ano e a USLE-M de 1315 t/ano.

Apesar dos resultados de ambas as equações apresentarem o comportamento sazonal observado, os resultados utilizando a RUSLE2 apresentaram valores simulados de CSS e QSS um pouco menos precisos que os resultados obtidos com a MUSLE e a USLE-M, superestimando os valores simulados em alguns pontos de valores observados e subestimando em outros, o que é refletido em suas estatísticas de avaliação, que apresentaram os piores desempenhos em comparação com as outras equações, com exceção do PBIAS que apresentou melhor desempenho do que a USLE-M. Este comportamento da RUSLE2 também foi observado por Kinnell (2017), que ao comparar a habilidade de estimar perda de solo do modelo WEPP em relação às equações USLE-M e RUSLE2, verificou que a RUSLE2 tende a subestimar os valores mais altos observados, enquanto que os valores mais baixos tendem a ser melhor representados, apresentando estatísticas/ajustes inferiores a USLE-M quando o escoamento superficial utilizado na equação é bem calculado.

Na sub-bacia onde se encontra esta estação (ponto 6) a SDR é a mesma para as equações USLE-M e RUSLE2, ou seja, não interfere na diferença de resultados encontrada entre elas. Nos mapas apresentados da Figura 48b a Figura 48d, ao analisar a sub-bacia onde se encontra a estação 56539000, percebe-se valores do fator de erosividade na MUSLE entre 0-1000 e valores mais altos desse fator com a RUSLE2 (0-8000) e na USLE-M (0-3000), o que provavelmente está relacionado ao uso da erosividade diária nessas duas equações. Porém, os valores de CSS e QSS simulados com a MUSLE foram mais altos e mais próximos aos valores máximos observados que as outras duas equações, o que deve estar relacionado com a magnitude do fator de erodibilidade (Figura 49b a Figura 49d), onde os valores da

desempenho da MUSLE, e também pelo fato dos resultados da RUSLE2 e da USLE-M ainda serem associados a um SDR.

Figura 54 - Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação 56990000 (São Sebastião da Encruzilhada) no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 1991 a 2001 e (b) 2001 a 2011 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Da mesma forma observada nas outras estações apresentadas, na estação de São Sebastião da Encruzilhada (56990000), localizada no rio Manhuaçu, a variabilidade sazonal, acompanhando os picos e vales também foram representados pelos resultados do modelo obtidos com as três equações (Figura 54a e Figura 54b).

Assim como nas demais estações, observa-se valores de CSS e QSS simulados com a MUSLE ficam mais próximos dos valores máximos e mínimos observados. Ao observar os mapas da Figura 48b a Figura 48d, na sub-bacia onde a estação está localizada (ponto 20) a RUSLE2 apresentou valores do fator de erosividade na faixa de 0 – 12.5000, já a USLE-M apresentou valores na faixa de 0-1500, enquanto este fator na MUSLE apresentou valores de 0-500. Em relação ao valor de erodibilidade, o valor da MUSLE é próximo ao da USLE-M e maior que o da RUSLE2 (Figura 49b a Figura 49d). As estatísticas de avaliação, tanto para CSS quanto para QSS foram melhores para os resultados simulados com a MUSLE.

Figura 55 - Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação 5669600 (Mario de Carvalho) no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 2000 a 2010 e (b) 1994 a 2004 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A estação Mario de Carvalho (5669600) está localizada no rio Piracicaba e nela foi desconsiderado uma medição realizada no dia 15/12/1999, porque ao ser analisado seu valor em relação a outras medições na estação e com sua respectiva descarga líquida, considerou a medição um outlier. Essa estação possui uma série histórica maior, sendo utilizada também para validação do modelo.

Assim como as estações anteriores, ao analisar a Figura 55a e a Figura 55b, observase que para as variáveis CSS e QSS a distribuição temporal dos valores simulados se assemelham aos valores observados para todas as equações.

Os resultados encontrados as três equações apresentaram valores muito próximos para CSS e QSS, porém, os resultados encontrados utilizando a MUSLE tendem a apresentar valores mais elevados e mais próximos dos observados, resultando em maior NASH. Os resultados para todas as equações apresentaram coeficiente de determinação acima de 0,80 e de correlação acima de 0,90, demonstrando uma alta correlação entre os valores observados e simulados com o MGB-SED utilizando todas as equações.

Ao analisar os mapas dos parâmetros das equações (Figura 49b a Figura 49d) observa-se que o fator de erobilidade são próximos para as três equações nesta

estação (ponto 7), MUSLE, ULSE-M e RUSLE2, porém, o K da MUSLE possui valores um pouco mais alto do que o da RUSLE2 e da USLE-M. Já o fator de erosividade na sub-bacia onde se encontra a estação apresenta valores mais altos para a USLE-M (0-5300) do que para a MUSLE, que a maior parte apresenta valores entre 0-2500. Já para a RUSLE2, os valores na sub-bacia estão com valores entre 0-8000. O conjunto desses dois fatores podem justificar os valores mais próximos dos observados com a equação da MUSLE, além das melhores estatísticas.

Figura 56 – Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação 56994500 (Colatina) no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 2002 a 2012 e (b) 1991 a 2001 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A estação de Colatina é localizada no rio principal (rio Doce) e nela também é possível observar a sazonalidade entre os dados observados e simulados, tanto para CSS, quando para QSS (Figura 56a e Figura 56b). Assim como na estação Fazenda Cachoeira D'antas (56425000), antes da estação de Colatina existem dois reservatórios referentes as UHE de Aimorés e de Mascarenhas, e como os mesmos não são representados pelo modelo, isso pode interferir nos resultados da estação, que pode ser usado como justificativa para as estatísticas inferiores as outras estações analisadas.

Apesar das três equações representarem a variabilidade temporal das CSS e das QSS na estação, observa-se nas Figura 56a e Figura 56b que os resultados com a equação da MUSLE chegam mais próximos dos valores máximos observados. A equação da MUSLE também apresenta as melhores estatísticas. Ao analisar os mapas da Figura 48b a Figura 48d, percebe-se que o fator de erosividade para USLE-M e para a RUSLE2, na sub-bacia onde a estação de Colatina se encontra (ponto 24) apresentam valores elevados (0-8000), já para a MUSLE, o fator de erosividade apresenta valores mais baixos (0-500). Já para o fator de erodibilidade (Figura 49b a Figura 49d), observa-se valores mais altos para a MUSLE e mais baixos para a USLE-

M e a RUSLE2, o que pode-se relacionar este fato aos valores mais altos da MUSLE. A SDR é a mesma para ambas as equações.

A Figura 57a e a Figura 57b mostram uma comparação entre as concentrações e as descargas diárias de sedimentos em suspensão simuladas e observadas na estação de Ouro Fino - CEMIG no período de calibração (1990 a 2014). A estação Ouro Fino, pertencente à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e possui maior quantidade de dados observados que as estações de monitoramento da ANA.

Figura 57 – Comparação entre as concentrações (a) e descargas (b) de sedimentos em suspensão simuladas diárias e observadas na estação de Ouro Fino - CEMIG no período de calibração (1990 a 2014). O Gráfico mostra resultados no período de (a) 1991 a 1998 e (b) 1999 a 2005 para uma melhor visualização. NASH é o coeficiente de Nash-Sutcliffe, PBIAS é o viés percentual, R² é o coeficiente de determinação e r é o coeficiente de correlação encontrados para todo o período de calibração.





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A partir da Figura 57a e da Figura 57b é possível observar que assim como observado nas estações da ANA, a variabilidade sazonal da bacia é representada pelas três equações. Nota-se que no período seco (abr-set) os valores máximos são menores do que no período chuvoso (out-mar). Os resultados encontrados com o modelo utilizando a RUSLE2 ora subestima, ora superestima os valores, apresentando os piores coeficientes de NASH, R² e r. Os valores máximos simulados com a equação da MUSLE foram os mais próximos dos dados observados, e a mesma também acompanhou os valores mais baixos, o que pode ser usado para justificar os melhores resultados das estatísticas, seguido pelos resultados encontrados com o modelo utilizando a USLE-M.

Nesta sub-bacia (ponto 27), ao analisar os mapas dos parâmetros (Figura 48b a Figura 49d) observa-se valores do fator de erosividade próximos para as três equações, porém valores mais elevados do fator de erodibilidade da MUSLE do que da USLE-M e da RUSLE2, o que pode justificar as melhores estatísticas encontradas com a MUSLE.

Na estação Ouro Fino, assim como as da ANA, os resultados das simulações se aproximaram dos valores observados, exceto por alguns valores mais altos que não foram atingidos pelos resultados encontrados com o modelo com nenhuma das três equações. Fagundes (2020) observou que o modelo não conseguiu representar de forma adequada os grandes picos de concentração de sedimentos em suspensão e relacionou isso ao método de estimativa simplificada da vazão de pico, que pode não estar considerando todo o potencial de escoamento para erodir o solo (BUARQUE, 2015; KINNELL E RISSE, 1998), ou pelo fato de o modelo não representar processos como perda de solo por movimento de massa. Como neste trabalho, além da MUSLE, a USLE-M e a RUSLE2 não representaram de forma adequada os valores mais altos de CSS, isso pode estar relacionado ao processo de perda de solo por movimento de massa, que também não é considerado por essas equações, ou por outros processos não representados pelo modelo, como a erosão de margens para grandes cheias, entre outros.

5.4.5 Curvas Vazão líquida x Vazão sólida

Para avaliar os resultados do modelo com as três equações avaliadas, também foi verificado o ajuste da relação vazão líquida (Q) versus vazão sólida em suspensão (QSS) simuladas e observadas nas estações sedimentométricas selecionadas (Tabela 3). A relação QSS x Q costuma se ajustar bem a uma curva de potência para os valores medidos de vazão sólida e vazão líquida, conforme equação 44.

$$Q_s = a. Q^b \tag{44}$$

onde a e b são coeficientes ajustados aos dados medidos.

Buscando evitar tendenciosidade do ajuste quando existe grande concentração de dados em um determinado intervalo de vazão, as curvas foram obtidas para valores médios de vazão sólidas e vazão líquida em intervalos discretos de vazão líquida. Ao total, foram definidos 20 intervalos de vazões líquidas e feitas relações no período de calibração (1990 a 2014).

Apesar de ter sido obtidas as curvas para todas as estações selecionadas na bacia do rio Doce, da Figura 58 a Figura 60 são apresentadas as curvas estimadas para três estações que estão localizadas ao longo do rio Doce. Em azul estão as relações entre as vazões líquidas e sólidas médias simuladas, em amarelo as relações entre as vazões líquidas e sólidas médias observadas, em laranja as relações entre os valores diários simulados e em verde as relações entre os valores diários observados.

Figura 58 - Curva vazão sólida x vazão líquida no posto 56425000 (Fazenda Cachoeira D' Antas). Os círculos azuis são os valores médios simulados pela MUSLE em faixas de vazão líquida, os verdes pela RUSLE2, os laranjas pela USLE-M os amarelos são os valores médios observados em faixas de vazão líquida.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 59 - Curva vazão sólida x vazão líquida no posto 56539000 (Cachoeira dos Óculos Montante). Os círculos azuis são os valores médios simulados pela MUSLE em faixas de vazão líquida, os verdes pela RUSLE2, os laranjas pela USLE-M os amarelos são os valores médios observados em faixas de vazão líquida.





Figura 60 - Curva vazão sólida x vazão líquida no posto 56994500 (Colatina). Os círculos azuis são os valores médios simulados pela MUSLE em faixas de vazão líquida, os verdes pela RUSLE2, os laranjas pela USLE-M os amarelos são os valores médios observados em faixas de vazão líquida.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Da Figura 58 a Figura 60, observa-se que as curvas médias simuladas tendem a ser mais próximas para as faixas de vazões pouco superiores daquelas para as quais as CSS foram medidas, principalmente a que representa os resultados da MUSLE e da USLE-M, o que pode está relacionado com a calibração realizada. Os valores médios simulados da RUSLE2 para os valores mais altos de vazões líquidas e vazões sólidas ficaram abaixo das outras equações nas três estações apresentadas acima.

Comparando os dados observados nos postos sedimentométricos e aquelas estimadas a partir dos resultados da simulação, verifica-se que há uma maior proximidade para vazões mais baixas e que nas estações 56425000 (Fazenda Cachoeira D' Antas) e 56539000 (Cachoeira dos Óculos Montante) os pontos observados de vazão líquida não passa de 500, mas os simulados passam.

5.4.6 Dados de qualidade – Turbidez e sólidos totais suspensos

O uso de dados observados de qualidade da água, como turbidez e sólidos totais suspensos (SST), tem sido uma forma de avaliar os resultados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) obtidos com modelos (FAGUNDES, 2018; FAGUNDES et al. 2020). Fagundes (2018) e Fagundes et al. (2020) mostraram que

esses dados auxiliam na análise dos sedimentos em suspensão e na compreensão dos padrões de transporte de sedimentos na bacia.

Essa análise busca verificar se o modelo tem gerado resultados compatíveis com aqueles observados e se os padrões espacial e temporal têm sido concordantes. Porém, essa metodologia não busca comparar a quantidade (concentração) de sedimentos estimados pelo modelo, e sim o comportamento das variáveis, como por exemplo, se apresentam ou não aumento na resposta de suas respectivas variáveis quando ocorre um evento chuvoso.

Logo, neste tópico são apresentados os resultados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) obtidos pela simulação de sedimentos com as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2 no modelo MGB-SED em comparação com dados de turbidez e sólidos totais suspensos observados, utilizando, assim como Fagundes (2018), o coeficiente de correlação linear de Pearson como estatística de avaliação.

Na Tabela 18 são apresentados os resultados das estatísticas de desempenho do modelo para cada estação com dados de turbidez e SST considerada. O período que possuía dados de turbidez e SST para comparação foi de 1998 a 2014, período de calibração. Nos resultados apresentados a seguir, as células em negrito indicam coeficiente r \ge 0,5, considerados como satisfatório neste trabalho.

	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON						
ESTAÇÃO	TURBIDEZ			SST			
	MUSLE	RUSLE2	USLE-M	MUSLE	RUSLE2	USLE-M	
56075000	0,90	0,59	0,77	0,84	0,56	0,72	
56110005	0,73	0,39	0,51	0,86	0,49	0,68	
56335001	0,53	0,64	0,61	0,72	0,58	0,60	
56696000	0,53	0,54	0,51	0,11	0,37	0,26	
56787000	0,52	0,27	0,37	0,82	0,70	0,82	
56800000	0,83	0,43	0,74	0,94	0,83	0,92	
56775000	0,63	0,42	0,62	0,91	0,65	0,93	
56825000	0,68	0,69	0,80	0,73	0,72	0,87	
56860000	0,27	0,15	0,15	0,74	0,59	0,57	
56891900	0,76	0,59	0,83	0,61	0,36	0,60	

Tabela 18 - Valores das estatísticas calculadas para cada uma das estações com dados de concentração de sedimentos em suspensão selecionadas na bacia do rio Doce.

56415000	0,64	0,67	0,79	0,88	0,94	0,88
56425000	0,90	0,79	0,84	0,89	0,87	0,93
56539000	0,77	0,58	0,72	0,66	0,42	0,56
56846000	0,80	0,63	0,85	0,55	0,33	0,52
56850000	0,71	0,64	0,79	0,55	0,73	0,74
56915500	0,36	0,91	0,68	0,30	0,89	0,63
56920000	0,51	0,52	0,61	0,67	0,59	0,71
56935000	0,49	0,41	0,37	0,53	0,52	0,48
56990000	0,71	0,70	0,84	0,71	0,66	0,81
56990990	0,33	0,34	0,34	0,45	0,49	0,49
56991500	0,80	0,51	0,53	0,80	0,46	0,46
56948005	0,71	0,59	0,76	0,80	0,60	0,81
56992000	0,82	0,82	0,87	0,93	0,78	0,81
56998400	0,64	0,81	0,75	0,83	0,94	0,94
56995500	0,37	0,72	0,65	0,59	0,74	0,68
56994500	0,73	0,72	0,71	0,89	0,81	0,88

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os valores das estatísticas encontrados ao comparar os resultados de concentração de sedimentos em suspensão estimadas com as equações da MUSLE, USLE-M e RUSLE2 com os valores observados de turbidez indicaram, respectivamente, que 77,8%, 81,5% e 70,4% das estações apresentaram valores de coeficiente de correlação acima de 0,50, valor considerado como satisfatório neste trabalho, conforme classificação de Moriasi et al. (2007). Quando comparado os resultados simulados com os dados observados de SST, 85,2% das estações apresentaram valores de coeficiente de correlação acima de 0,50 quando utilizado a equação da MUSLE para a obtenção dos resultados de CSS, 81,5% quando utilizado a USLE-M e 70,4% com a RUSLE2.

Da Figura 61 a Figura 68 é mostrado a comparação dos dados de turbidez e SST em estações na bacia do rio Doce com os resultados de CSS encontrados pelo modelo com as três equações, MUSLE, USLE-M e RUSLE2.

Figura 61 - Comparação entre os dados de turbidez e SST observados e as concentrações simuladas diária na estação 56994500 (Colatina). O Gráfico mostra resultados no período de 1995 a 1996 para uma melhor visualização. O r é o coeficiente de correlação.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 62 - Gráfico de dispersão entre os (a) SST e (b) turbidez observadas com as CSS simuladas na estação 56994500 (Colatina).





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 63 - Comparação entre os dados de turbidez e SST observados e as concentrações simuladas diária na estação 56948005 (Resplendor – Jusante). O Gráfico mostra resultados no período de 1993 a 1994 para uma melhor visualização. O r é o coeficiente de correlação.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 64 - Gráfico de dispersão entre os (a) SST e (b) turbidez observadas com as CSS simuladas na estação 56948005 (Resplendor Jusante).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 65 - Comparação entre os dados de turbidez e SST observados e as concentrações simuladas diária na estação 5611005 (Ponte Nova – Jusante). O Gráfico mostra resultados no período de 1998 a 1999 para uma melhor visualização. O r é o coeficiente de correlação.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 66 - Gráfico de dispersão entre os (a) SST e (b) turbidez observadas com as CSS simuladas na estação 56110005 (Ponte Nova Jusante).





Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 67 - Comparação entre os dados de turbidez e SST observados e as concentrações simuladas diária na estação 56920000 (Tumiritinga). O Gráfico mostra resultados no período de 2000 a 2002 para uma melhor visualização. O r é o coeficiente de correlação.



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Figura 68 - Gráfico de dispersão entre os (a) SST e (b) turbidez observadas com as CSS simuladas na estação 56920000 (Tumiritinga).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Como pode ser analisado nas figuras, existe uma boa relação entre os dados de CSS simulados e os dados observados de turbidez e SST. Apesar de possuir poucos dados para comparação, é possível observar que o comportamento dos dados simulados no

período de avaliação é semelhante ao dos dados observados, para as três equações utilizadas. Na estação 56994500 - Colatina (Figura 61) tem-se uma correlação de turbidez e SST bem próximas com os resultados encontrados pelo modelo utilizando as três equações analisadas neste estudo, com o coeficiente r acima de 0,70 para ambos os resultados. Em relação aos dados de SST, a correlação foi ainda maior, acima de 0,80. Os resultados do modelo com a equação da MUSLE foram os que apresentaram as melhores estatísticas.

Na estação 56948005 - Resplendor Jusante (Figura 63) os dados simulados acompanham a variação dos máximos e mínimos, com boa representação da sazonalidade temporal. As estatísticas também mostram que, nesta estação, a comparação entre os resultados simulados com a USLE-M e os dados de turbidez teve um desempenho alto, com coeficiente de 0,87, assim como os resultados do modelo com a MUSLE e RUSLE2 que também apresentaram uma alta correlação, com coeficiente de 0,82. Em relação aos dados de SST, os resultados do MGB-SED com a MUSLE apresentaram uma correlação alta, de 0,93, seguida pelos resultados encontrados com a USLE-M (0,81) (0,78) e RUSLE2, respectivamente. As estações 56110005 - Ponte Nova Jusante (Figura 65) e 56920000 - Tumiritinga (Figura 67) seguiram o mesmo comportamento das outras estações. Na 56110005 - Ponte Nova Jusante, os resultados simulados com o modelo utilizando a equação da RULSE2 apresentaram uma superestimativa dos valores em alguns pontos, o que justifica os valores das estatísticas um pouco menores em relação aos resultados das outras equações.

5.4.7 Produção de sedimentos na bacia

Nessa sessão é feita uma avaliação qualitativa procurando representar a variabilidade espacial da carga total de sedimentos gerada em cada minibacia, em cada passo de tempo, que seguirá para a rede de drenagem, como condição de contorno para o módulo de transporte nos trechos de rios. Essa avaliação foi realizada para os resultados encontrados pelo modelo com cada uma das equações avaliadas (MUSLE, USLE-M e RUSLE2). A Figura 69, Figura 70 e Figura 71 mostram a carga média específica de sedimentos (t/ano/km²) gerada em cada minibacia e aportada à rede de

drenagem no período de 1990 a 2014. Destaca-se que os valores apresentados na MUSLE correspondem ao aporte médio obtido diretamente pela equação. Já os valores da RUSLE2 e USLE-M correspondem ao aporte de sedimentos médio após consideração do SDR.

Figura 69 - Carga média anual específica de sedimentos gerada nas minibacias e aportadas aos trechos de rios, calculada pelo MGB-SED utilizando a equação da MUSLE no período de calibração (1990-2014).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 70 - Carga média anual específica de sedimentos gerada nas minibacias e aportadas aos trechos de rios, calculada pelo MGB-SED utilizando a equação da RUSLE2 no período de calibração (1990-2014).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 71 - Carga média anual específica de sedimentos gerada nas minibacias e aportadas aos trechos de rios, calculada pelo MGB-SED utilizando a equação da USLE-M no período de calibração (1990-2014).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Nas figuras, pode-se observar que a maior parte da carga de sedimentos simulada pelo modelo MGB-SED com a equação da MUSLE (Figura 69) e que chega aos rios é proveniente das regiões onde ficam os rios Caratinga, Matipó, Suaçuí Grande e Piracicaba. A região próxima ao rio Caratinga é onde podemos observar a maior produção de carga de sedimentos, com valores entre 800 e 1356 t/ano/km².

As cargas de sedimentos encontradas com a equação da RUSLE2 (Figura 70) é menor do que a encontrada com a MUSLE. Apesar de apresentar uma carga um pouco superior a outras regiões, a região do Rio Matipó, que aparece com uma alta carga nos resultados com a MUSLE, na RUSLE2 apresenta valores menores. A região próxima ao rio Suaçuí Grande também pode ser apontada com uma produção significativa de carga de sedimentos. Já os resultados obtidos com o modelo utilizando a USLE-M (Figura 71), no geral, apresentou comportamento similar aos resultados encontrados pela RUSLE2. As regiões dos rios Caratinga e do rio Matipó aparecem com uma menor carga do que a MUSLE e a região do rio Suaçuí Grande também é apontada com uma produção significativa de carga de sedimentos.

Os resultados encontrados são próximos ao encontrado por Fagundes (2018), onde os maiores valores de produção de sedimentos específica ocorrem predominantemente nas bacias do rio Caratinga, Suaçuí Grande e Piracicaba locais que também foram apontados neste estudo. Já Campagnoli (2006) encontrou valores de 5 t/ano.km² para grande parte da bacia do rio Doce, o que é inferior aos valores obtidos neste estudo. A metodologia utilizada por Campagnoli (2006) possuía uma abordagem que focava em aspectos geológicos e geomorfológicos e não utilizava nenhuma das três equações utilizadas neste trabalho, o que pode ter subestimado os valores encontrados.

Ao comparar os mapas de carga de sedimentos geradas com as declividades geradas pelo MDE utilizado no trabalho, percebe-se que nos locais de maiores declividades e com relevo mais acidentado, a produção de sedimentos é maior, já nos locais com menor declividade, há claramente uma menor produção de sedimentos e carga, seja devido ao impacto do escoamento superficial na geração de sedimentos pela MUSLE ou pelo baixo valor de SDR considerado na USLE-M e RUSLE2. Além de ser um comportamento esperado, ele também foi relatado por Fagundes (2020), que verificou que os valores de produção média anual de sedimentos mais elevados correspondem principalmente a regiões com terreno acidentado.

Outro fator que pode impactar na distribuição de carga de sedimentos na bacia é o tipo e uso de solos. Apesar dos solos predominantes na bacia serem Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelhos, que são caracterizados como solos profundos, bem drenados, a maioria da bacia encontra-se na classe de susceptibilidade erosiva forte (PIRH, 2010). De acordo com PIRH (2010), as bacias que se encontram nessa classe de susceptibilidade forte são o alto curso do Piracicaba e a sub-bacia do Suaçuí Grande. Essa análise é compatível com o observado nos mapas de produção de sedimentos apresentados na Figura 69, Figura 70 e Figura 71, onde a região do rio Suaçuí e do rio Piracicaba apresentam uma elevada produção de carga de sedimentos.

A produção anual média de sedimentos (G) e a produção anual específica média de sedimentos (Gesp) na bacia do rio Doce calculada com o modelo utilizando a equação da MUSLE foram, respectivamente, de aproximadamente 9,81.10⁶ t/ano e 121,48 t./ano.km², com a USLE-M 4,99.10⁶ t/ano e 63,48 t./ano.km² e, com a RUSLE2,

4,91.10^{^6} t/ano e 62,18 t./ano.km² t/ano.km². Fagundes (2018), utilizando o MGB-SED calibrado na bacia do rio Doce, encontrou uma G de 9,70.10^{^6} t/ano e uma Gesp de 128 t./ano.km², valores próximos aos resultados encontrados com o modelo usando a equação da MUSLE neste trabalho. Já Fagundes et al. (2020), utilizando o modelo MGB-SED sem calibração dos parâmetros, estimou que a Bacia do Rio Doce possui uma G de 45,24.10^{^6} t/ano e uma Gesp de 656,8 t / ano.km². Esses valores são mais altos do que os valores encontrados neste trabalho.

5.4.8 Carga anual de sedimentos em suspensão nos trechos de rio

A Figura 72, Figura 73 e Figura 74 apresentam um mapa espacial da carga anual média específica de sedimentos em suspensão em cada trecho de rio para os resultados do modelo com as equações da MUSLE, RUSLE2 e USLE-M, respectivamente. Esses mapas permitem analisar os locais que mais contribuem com a carga de sedimentos em suspensão na bacia. Nos mapas a carga anual média de sedimentos em suspensão de cada trecho de rio foi dividia pela área de contribuição acumulada do trecho. Nesses mapas são espacializados os resultados da carga média anual específica de sedimentos.

Figura 72 - Carga média anual específica de sedimentos em suspensão nos trechos de rio da bacia do rio Doce calculada a partir da MUSLE no período de calibração (1990-2014).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 73 - Carga média anual específica de sedimentos em suspensão nos trechos de rio da bacia do rio Doce calculada a partir da RUSLE2 no período de calibração (1990-2014).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 74 - Carga média anual específica de sedimentos em suspensão nos trechos de rio da bacia do rio Doce calculada a partir da USLE-M no período de calibração (1990-2014).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A distribuição espacial da carga média anual específica de sedimentos em suspensão transportado pelos rios, apresentada na Figura 72, mostra que nos resultados com a equação da MUSLE, o rio Caratinga, rio Matipó e o Suaçuí Grande são rios que contribuem com elevada concentração de sedimentos. O rio Piracicaba também pode ser apontado como uma produção significativa.

Como vem sendo observado em todos as comparações apresentadas até o momento, os resultados encontrados utilizando a RUSLE2 apresentam valores menores do que quando utilizada as outras duas equações. Isso também pode ser observado no mapa da Figura 73. Ainda assim, apesar do rio Caratinga não contribuir tanto como nos valores obtidos com a MUSLE, o Rio Suaçuí Grande, o rio Matipó e o rio Piracicaba também se destacam com elevada produção de sedimentos nos resultados obtidos pela equação da RUSLE2.

O modelo com a equação da USLE-M apresenta um resultado da carga média anual específica de sedimentos em suspensão transportado pelos rios com valores menores do que os encontrados utilizando a MUSLE, porém, maiores do que os obtidos usando a RUSLE2. Observa-se que os rios que mais contribuem com os sedimentos são os Rios Suaçuí Grande, Matipó e rio Piracicaba. O rio Piracicaba também se destaca com maiores valores de concentração. Pode-se observar que os trechos de rio com maior contribuição correspondem, para os resultados com todas as equações, geralmente, aos locais onde há maior aporte de sedimentos das bacias.

Na Tabela 19 estão apresentadas as cargas anuais médias específicas de sedimentos em suspensão transportado correspondentes aos exutórios de postos localizados ao longo do rio Doce para o modelo com as três equações utilizadas e para os resultados encontrados por Lima et al. (2005).

Estação	Nome	Rio	LIMA et al. (2005) (ton/ano.km ²)	MUSLE (ton/ano.km ²)	RUSLE2 (ton/ano.km ²)	USLE-M (ton/ano.km ²)
56425000	Fazenda Cachoeira D'antas	Rio Doce	99,6	40,64	24,73	31,24
56920000	Tumiritinga	Rio Doce	112,1	55,47	31,19	32,21
56948005	Resplendor Jusante	Rio Doce	101,9	67,65	30,87	31,31
56994500	Colatina	Rio Doce	148,0	60,08	30,62	30,85

Tabela 19 – Carga anual média específica de sedimentos em suspensão calculada nos exutórios de postos localizados ao longo do rio Doce.

Elaborado pela autora (2020).

Os resultados encontrados pelo modelo com a equação da MUSLE foram os mais próximos dos valores encontrados por Lima et al. (2005), porém, ainda foram inferiores. Isto pode estar associado aos períodos diferentes avaliados em cada trabalho. Lima et al. (2005) utilizaram dados disponibilizados no Hidroweb pela ANA, que segundo os autores, possuíam medições desde a década de 1970, sendo utilizados dados disponíveis até o ano de 2004. Já o presente estudo utilizou dados de 1990 a 2014 para esta comparação, o que pode levar a essa diferença nos resultados, devido a fatores como diferenças nas variações anuais das chuvas durante os anos, qualidade dos dados medidos no passado, e diferentes usos do solo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÃO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar diferentes equações de perda de solo para uso em modelagem distribuída de grandes bacias, analisando o potencial de aplicação das equações e de representação da dinâmica de sedimentos em grandes escalas.

O fator de erosividade de cada equação possui influência significativa sobre os resultados de concentração de sedimentos em suspensão encontrados pelo modelo utilizando as três equações. Apesar dos resultados encontrados mostrarem que a estimativa de erosividade diária da chuva a partir de dados diários de precipitação foi satisfatória, com alto grau de correlação encontrado na regressão linear, a forma utilizada para estimar o fator pela MUSLE, que utiliza o escoamento superficial, apresentou os melhores resultados.

A calibração do modelo melhorou seu desempenho, sendo que os resultados encontrados com o modelo calibrado apresentaram uma melhora significativa nos valores estatísticos do coeficiente PBIAS para as três equações utilizadas quando comparado com os resultados do modelo sem calibração. Os coeficientes R² e r não tiveram uma diferença significativa.

A SDR utilizada no modelo é altamente relacionada com a topografia da bacia onde os valores mais altos da SDR foram nos locais de maiores declividades, e os mais baixos, nos locais com menores declividades. A SDR teve impacto nos resultados obtidos com a equação da USLE-M e da RUSLE2, e a utilização de outras formulações de SDR podem apresentar resultados diferentes daqueles encontrados neste trabalho.

Verificou-se que nos eventos de cheia os resultados obtidos com a MUSLE melhor se ajustaram aos dados observados. Embora todas as equações tenham gerado melhores resultados para valores mais baixos de CSS e QSS, e os valores encontrados pela MUSLE se aproximaram mais dos valores mínimos observados, apresentando as melhores estatísticas e uma maior habilidade de representar a dinâmica geral de sedimentos na bacia em relação às outras equações. Os melhores resultados encontrados com a MUSLE provavelmente estão associados ao fato dela usar o escoamento superficial como fator de erosividade, que se mostrou mais eficiente para a estimativa da produção de sedimentos. Além disso, o fator de erodibilidade do solo (K) também é um fator que influenciou no resultado final encontrado com as diferentes equações, onde a MUSLE, que apresentou os melhores resultados, tiveram valores mais altos de K.

Depois da MUSLE, a USLE-M apresentou os melhores ajustes. O menor desempenho verificado nos resultados da USLE-M e da RUSLE2 em relação aos da MUSLE podem ainda estar associados ao fato delas utilizarem uma estimativa da erosividade diária da chuva a partir de dados diários de precipitação e uma SDR para estimar o aporte de sedimentos na bacia, que neste estudo foi considerada apenas uma formulação.

Apesar das diferenças obtidas, os resultados indicaram que o uso de qualquer uma das três equações avaliadas (MUSLE, USLE-M e RUSLE2) tende a apresentar comportamento similar aos valores observados na maioria das estações consideradas neste trabalho.

Apesar da diferença de magnitude observada entre os valores observados de CSS e QSS em relação aos valores simulados pela MUSLE, USLE-M e RUSLE2, o modelo utilizando cada uma das três equações foi capaz de representar a dinâmica de sedimentos na bacia do rio Doce, além de representar, no geral, o comportamento da concentração de sedimentos na bacia do rio Doce e nos seus rios.

As maiores incertezas neste estudo estão relacionadas com os poucos dados de sedimentos existentes na bacia do rio Doce, com a calibração, a qual foi realizada de forma manual, com a estimativa da Erosividade diária da chuva a partir de dados diários de precipitação e ao uso de uma única formulação para estimar a taxa de transferência de sedimentos.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Este trabalho analisou a aplicação de três equações de perda de solo através do modelo MGB-SED para representar a dinâmica de sedimentos na bacia do rio Doce. Apesar dos resultados terem sido satisfatórios, há pontos que podem ser melhorados a fim de avaliar as diferentes equações de perda de solo.

A principal diferença entre as equações de perda de solo testadas neste trabalho foi em relação ao cálculo do fator de erosividade, onde a MUSLE utiliza o escoamento superficial, a USLE-M um índice que relaciona o escoamento superficial com a erosividade diária, e a RUSLE2 que só considera a erosividade diária. A erosividade diária utilizada nas equações da RUSLE2 e da USLE-M foi estimada neste estudo com base em referências da literatura. Um avanço ao estudo realizado seria a identificação de uma equação com base em pluviômetros além de uma avaliação de outras formas ou equações para estimar o El30.

As equações da USLE-M e a RUSLE2 utilizam uma SDR associada à sua equação para o cálculo do aporte de sedimentos na bacia, que possui influência sobre os seus resultados, sendo assim recomendado testar outras equações de taxa de transferência de sedimentos.

Além disso, ao analisar os resultados encontrados, foi observado que outros fatores também interferem nos resultados, como o fator de erodibilidade do solo (k). Ele utiliza em seu cálculo faixas de valores para cada tipo de solo. Como neste trabalho foi realizada uma avaliação inicial da aplicação de equações de perda de solo para uso em modelagem distribuída de grandes bacias essas faixas de valores foram consideradas fixas, porém, recomenda-se testar os resultados variando essa faixa de valores para cada tipo de solo. Outro teste que poderia ser realizado é variar a faixa de valores do fator de uso e cobertura do solo.

O modelo MGB-SED considera apenas uma formulação para estimativa do fator topográfico (LS), de forma que seria interessante avaliar os resultados considerando outras formas de calcular esse fator.

As equações utilizadas neste trabalho (MUSLE, USLE-M e RUSLE2) não representam o processo de perda de solo por movimento de massa, logo, poderia ser acrescentado ao modelo uma equação que representasse esse processo.

REFÊRENCIAS

ADEGEDE, A. P.; MBJIORGU, C. C. Event-based sediment yield modeling for small watersheds using MUSLE in north-central Nigeria. Agric. Eng. Int. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 08 fev 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce, Rompimento da barragem em Mariana - MG. 2015.

AHMADI, S. H.; AMIN, S.; KESHAVARZ9, A. R.; MIRZAMOSTAFA, N. Simulating Watershed Outlet Sediment Concentration using the ANSWERS Model by applying Two Sediment Transport Capacity Equations. Biosytems Engineering. 2006.

AKSOY, H., AND KAVVAS, M. L: A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. Catena, *64*(2–3), 247–271. http://doi.org/10.1016/j.catena.2005.08.008, 2005.

ALEWELL, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; PANAGOS, P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. International Soil and Water Conservation Research. 2019.

ALI, K.F.; DE BOER, D.H. **Spatially distributed erosion and sediment yield modeling in the upper Indus River Basin.** Water Resources Research. 2010.

AMIN S. **Modeling of phosphorous transport in surface runoff from agriculture watersheds**. PhD Thesis. Purdue University, West Lafayette, IN, USA.1982.

AMORE, E.; MODICA, C.; NEARING, M.A.; SANTORO, V.C. . Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. Journal of Hydrology. 2004.

AMORIM, R.S.S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras.** 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2003.

ANACHE, J. A.A.; FLANAGAN, D. C.; SRIVASTAVA, A.; WENDLAND, E. C. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. Science of the total environment. 2018.

ANSWERS 2000. In: Presented at the ASAE Annual Meeting. 1998.

APTA. Solos dos estados de São Paulo. São Paulo. 2015.

AQUINO, R.F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CURI, N.; MELLO, C. R.; AVANZI, J.C. Spatial variability of the rainfall erosivity in Southern region of Minas Gerais State, Brazil. R. Ciênc. Agrotec., Lavras. 2012.

ARINO, O. R., KALOGIROU, V., BONTEMPS, S., DEFOURNY, P., & VAN BOGAERT, E. **Global Land Cover Map for 2009 (GlobCover 2009).** European Space Agency (ESA) & Université catholique de Louvain (UCL), doi:10.1594/PANGAEA.787668. (2009).

ARNOLD, J.G.; MORIASI, D.N.; GASSMAN, P.W.; ABBASPOUR, WHITE, K.C. M.J. SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R.D.; VAN GRIENSVEN A.; VAN LIEW M.W.; KANNAN, N.; JHA. M.K. **SWAT: model use, calibration, and validation**. Trans. ASABE. 2012.

ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment – part 1: model development. Water Resour. Assoc. 1998. Disponível em: ">http://doi.wiley.com/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.

ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; GRIGGS, R.H.; SAMMONS, N.B. **SWRRB— a** basin scale simulation model for soil and water resources management. A&M Press, Texas. 1990.

ASHIAGBOR, G.; FORKUO, E.K.; LAARI, P.; AABEYIR, R. **Modeling Soil Erosion Using RUSLE and Gis Tools**. International Journal of Remote Sensing & Geosciente (IJRSG). 2013.

AZIM, F.; SHAKIR, A. D.; REHMAN, H. U. KANWAL, A. Impact of climate change on sediment yield for Naran watershed, Pakistan. International Journal of Sediment Research. 2016.

BAGARELLO, V.; FERRO, V.; GIORDANO, G.; MANNOCCHI, F.; TOSICO, F.; VERGNI, L. Statistical check of USLE-M and USLE-MM to predict bare plot soil loss in two Italian environments. Land Degratation & Development. 2018.

BAGARELLO, V.; FERRO, V.; GIORDANO, G.; MANNOCCHI, F.; TOSICO, F.; VERGNI, L. Statistical check of USLE-M and USLE-MM to predict bare plot soil loss in two Italian environments. Land Degratation & Development. 2018.

BAIGORRIA, G.A.; ROMERO, C.C. Assessment of erosion hotspots in a watershed: integrating the WEPP model and GIS in a case study in the Peruvian Andes Environ. Model. Softw. 2007.

BARBOSA, A.F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; FILHO, A. C. P. **Aplicação da Equação Universal da Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. 2015.

BEASLEY D. B.; HUGGINS L. F. **ANSWERS user's manual.** Department of Agricultural Engineering. Purdue University, West Lafayette, IN, USA. 1982.
BEASLEY, D.B.; HUGGINS, L.F.; MONKE, E.J. **ANSWERS—a model for** watershed planning. Trans Am Soc Agric Eng 23, 938–944. 1980.

BEGUERIA, S.; NOTIVOLLI, R.S.; BURGUERA, M. T. **Computation of rainfall erosivity from daily precipitation amounts**. Science of the Total Environment, 2018.

BENAVIDEZ, R.; JACKSON, B.; MAXWELL, D.; NORTON, K. A review of the (revised) universal soil loss equation (r)usle: with a view to increasing its global applicability and imporving soil loss estimates. Hydrology and Earth System Sciences. 2018.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990.

BHATTARAI, R.; DUTTA, D. Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS at Catchment Scale. Water Resources Management, v. 21, n. 10, p.1635-1647. 2006.

BIN, W.; FENLI, Z.; MATHIAS, J. M. Comparison of soil erodibility factors in USLE, RUSLE2, EPIC and Dg models based on a Chinese soil erodibility database. A cta Agriculturae Scandinavica: Section B, Soil & amp; Plant Science, 2013.

BLAINSKI, E.; PORRAS, E. A. A.; GARBOSSA, L. H. P.; PINHEIRO, A. **Simulation** of land use scenarios in the Camboriú River Basin using the SWAT model. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2017.

BOOMER, K.B.; WELLER, D.E.; JORDAN, T.E. **Empirical models based on the Universal Soil Loss Equation fail to predict sediment discharges from Chesapeake Bay Catchments**. Journal of Environmental Quality. 2008.

BORGES, B.S. Avaliação da Modelagem Hidrológica e de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Madeira Considerando Diferentes Fontes de Precipitação. Trabalho de conclusão de curso ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2017.

BREETZKE, G. D.; KOOMEN, E.; CRITCHLEY, W. R. S. **GIS-Assisted Modelling** of Soil Erosion in a South African Catchment: Evaluating the USLE and SLEMSA approach. In: WURBS, Ralph (Ed.). Water Resources Planning, Development and Management. Londres: Intechopen, 2013.

BRITO, E. Estimativa da produção de sedimentos da bacia do rio santa maria da vitória – espírito santo através do modelo matemático Soil And Water Assessment Tool (SWAT). Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2015. BRONSTERT, A.; ARAÚJO, J. C.; BATALLA, R. J.; et al. **Process-based modelling** of erosion, sediment transport and reservoir siltation in mesoscale semi-arid catchments. Journal of Soils and Sediments, v. 14, n. 12, p. 2001–2018, 2014.

BUARQUE, D. C. Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do rio Madeira. Tese. Programa de Pósgraduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS, 2015.

BURROUGH, P.A.; MCDONNEL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics**. Oxford University Press, Oxford, 333 p.

CAMPAGNOLI, F. The production of the sediment of the South America Continent: propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects. Revista Brasileira de Geomorfologia, nº 1, p. 03-08, 2006.

CAMPAGNOLI, F.; GALVÃO, W.S.; AZEVEDO JR, F.N.; SOUZA, A.L.; VIDAL, L.R. **Mapa de Produção de Sedimentos do Brasil.** VI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. 2005.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S.B.; INÁCIO, E.S.B.; SILVA, M.D.R.O. Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco – 1ª aproximação. Caatinga. 2009.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2ª. Ver. Atual. E, 2008.

CBH-DOCE: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. 2006.

CECILIO, R.A.; RODRIGUEZ, R. D. G.; BAENA, L. G. N.; OLIVEIRA, F. G.; PRUSKI, F. F. **Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG)**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa (GVAA). 2009.

CHALOV, S. R.; TSYPLENKOV, A. S.; PIETRON, J.; CHALOVA, A. S.; SHKOLNYI, D. L.; JARSJO, J.; MAERKER, M. **Sediment transport in headwaters of a volcanic catchment – Kamchatka Peninsula case study.** Frontiers of Earth Science. 2017.

CHAVES, H.M.L. Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. R. Bras. Ci. Solo, 34:1469-1477, 2010.

CHEN, P.; LIAN, Y. Modeling of soil loss and its impact factors in the Guijiang Karst River Basin in Southern China. Environ Earth Sci. 2016. CIESOLKA, C.A.; COUGHLAN, K.J.; ROSE, C.W.; ESCALANTE, M.C.; HASHIM, G.M.; PANINGBATAN, E.P. JR.; SOMBATPINAT, S. Methodology for a multicountry study of soil erosion management. Soil Technology 8, 179–192. 1995. COLLICHONN, W.; TUCCI, C. E. **Simulação Hidrológica de grandes bacias.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 6, pp. 15-35. 2001.

COLLISCHONN, W. *et al.* ****The MGB model for large-scale rainfall-runoff modelling**.** Hydrological Sciences Journal, v. 52, n. 5, pp. 878-895. 2007.

COLODRO, G.; CARVALHO, M.P.; ROQUE, C.G.; PRADO, R.M. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2002.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). 2019.

DABNEY, S.M.; VIEIRA, D.A.; YODER, D.C.; LIGHTLE, D.T. **Modeling runoff and** erosion from construction sites in 2-D with RUSLE2. 19th World Cong. Soil Sci. 2010.

DALBIANCO, L. **Simulação hidrossedimentológica com o modelo LISEM em uma pequena bacia hidrográfica rural**. Tese de doutorado do programa de Pós Graduação em Ciência do solo. Universidade Federal de Santa Maria. 2013.

DE VENTE, J.; POESEN, J.; ARABKHEDRI, M.; VERSTRAETEN, G. 2007. **The sediment delivery problem revisited.** Progress in Physical Geography. 2007.

DE VENTE, J.; POESEN, J.; VERSTRAETEN, G.; ROMPAEY, A. V.; GOVERS, G. **Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain.** Global and Planetary Change, v. 60, n. 3-4, p. 393-415, 2008.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

DILLAHA T. A. Modelling the particle size distribution of eroded sediments during shallow overland flow. MSc Thesis. Purdue University, West Lafayette, IN, USA. 1981.

DILLAHA, T.A.; WOLFE, M.L.; SHIRMOHAMMADI, A.; BYNE, F.W. ANSWERS 2000. In: Presented at the ASAE Annual Meeting. 1998.

DIODATO, N.; GRAUSO, S. **An improved correlation model for sediment delivery ratio assessment.** Environmental Earth Sciences. 2009.

DUARTE, N. S.; MARÇAL, M; S. **Conectividade da paisagem na bacia do rio Sana (RJ): relação entre áreas de captação efetiva e tipos de bloqueios.** Revista Brasileira de Geomorfologia. 2017.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. **Distribuição Espacial da Erosão Potencial e** Atual do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.21 n.4. 677-685. 2016. ELSENBEER, H.; CASSEL, D. K.; TINNER, W. A daily rainfall erosivity model for western Amazonia. Journal Soil and Water Conservation. 1993.

ELWELL, H. A. **Modelling soil losses in Southern Africa.** Journal of Agricultural Engineering Research. v. 23, n. 2, p. 117-127, 1978.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ**). Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Avaliação ambiental integrada (AAI) dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio doce. Sondotécnica, 287 P., 2007.

EVA, H. D.; MIRANDA, E. E.; BELLA, C. M.; GOND, V.; HUBER, O.; SGRENZAROLI, M.; JONES, S.; COUTINHO, A.; DORADO, A.; GUIMARÃES, M.; ELVIDGE, C.; ACHARD, F.; BELWARD, A. S.; BARTHOLOMÉ, E.; BARALDI, A.; DE GRANDI, G.; VOGT, P.; FRITZ, S.; HARTLEY, A. **A vegetation map of South America.** EUR 20159 EN, Luxemburgo: European Comission, Joint Reseach Centre, 2002.

FAGUNDES, H. O. Modelagem hidrossedimentológica de grandes bacias com apoio de dados in situ e sensoriamento remoto. Porto Alegre, 2018.

FAGUNDES, H. O., FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D. Automatic calibration of a largescale sediment model using suspended sediment concentration, water quality, and remote sensing data. Brazilian Journal of Water Resources. Porto Alegre, v. 24, e26. https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180127. 2019.

FAGUNDES, H.O.; PAIVA, R.C.D.; FAN, M.F.; BUARQUE, D. C.; ANDRADE, A.C.F. Sediment modeling of a large-scale basin supported by remote sensing and insitu observations. Catena. 2020.

FAGUNDES, H.O.; TSCHIEDEL, A.F.; FAN, F.M.; PAIVA, R.C.D. Análise Comparativa do Transporte de Sedimentos Utilizando os Modelos MGB-SED e HEC-RAS. XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos e I Partículas das Américas. 2018.

FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W. **Um Mapa de Unidades de Resposta Hidrológica para a América do Sul.** XXI Simpósio Brasileiro e Recursos Hídricos, p. 1–8, 2015.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB com Sistema de Informação Geográfica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 243–254, 2014.

FARHAN, Y.; NAWAISEH, S. **Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques.** Environ. Earth. Sci., *74*(6), 4649–4669. http://doi.org/10.1007/s12665-015-4430-7, 2015. FERREIRA, P. H. de M. **Princípios de manejo e conservação do solo**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1981.

FERRO, V.; MINACAPILLI, M. **Sediment delivery processes at basin scale**. Hydrological Sciences Journal. 1995.

FILGUEIRA, C. F.; VEGA, J.A.; VIEIRA, D. C.S. Assessing soil erosion after fire and rehabilitation treatments in NW Spain: performance of RUSLE and revised Morgan-Morgan-Finney models. Land Degradation and Development. 2010.

FISHER, P.; ABRAHART, R.; HERBINGER, W. **The sensitivity of two distributed non-point source pollution models to the spatial arrangement of the landscape**. Hydrological Processes 11, 241–252. 1997.

FOEGER, L. B. **Modelagem hidrossedimentológica de grandes bacias com propagação inercial de vazão: estudo de caso da bacia do rio madeira.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

FOEGER, L. B.; BUARQUE, D. C.; PONTES, P. R. M.; FAGUNDES, H. O.; FAN, M. F. **Modelagem hidrossedimentológica com propagação inercial de vazões.** XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2019.

FOEGER, L. B.; FAGUNDES, H.O.; BUARQUE, D.C.; PAIVA, R.C.D. Geração e Transporte de Sedimentos na Bacia Amazônica: Análise Preliminar com o Modelo MGB-SED. XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos e I Partículas das Américas. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Soil Map of the world: Volume IV South America. Paris, 1971.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **'The Digitized Soil Map of the World and Derived Soil Properties'** (version 3.5). FAO Land and Water Digital Media Series 1. 2003.

FOSTER, G.R. Draft Science Documentation: Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2). USDA-ARS, Washington, DC. 2005.

FOSTER, G.R.; TOY, T.E.; RENARD, K.G. **Comparison of the USLE, RUSLE1.06c**, and **RUSLE2 for application to highly disturbed lands.** First Interagency Conference on Research in Watersheds, pp. 154–160. 2003.

GALLAY, M.; MARTINEZ, J. M.; MORA, A.; CASTELLANO, B.; YEPEZ, S.; COCHONNEAY, G.; AFONSO, J. A.; CARRERA, J. M.; LOPEZ, L. J.; LARAQUE, A. Assessing Orinoco river sediment discharge trend using MODIS satellite images. Journal of South American Earth Sciences. 2019.

GASSMAN, P. W.; WILLIAMS, J. R.; WANG, X.; SALEH, A.; OSEI, E.; HAUCK, L. M.; IZAURRALDE, R. C.; FLOWERS, J. D. **The Agricultural Policy Environmental EXtender (APEX) Model: An Emerging Tool for Landscape and Watershed**

Environmental Analyses. Technical Report 09-TR 49, Iowa State University, Center for Agricultural and Rural Development, 111 p. 2009.

GEBREMICHAEL, A.; ALAMIREW, T. Testing and Validation of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE-2) at the Twin Catchments of Gununo, Wolaita. MSc thesis Haramaya University. 2012.

GUERRA, J.A.T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. **Slope processes, mass movement and soil erosion: a review**. Soil Science Society of China. 2017.

GÜNTNER, A. Large-scale hydrological modelling in the semi-arid North-East of Brazil. Potsdam Institute for Climate Research, Germany. 2002.

GUYOT J.L.; FILIZOLA N.P.; QUINTANILLA J.; CORTEZ J. **Dissolved solids and suspended sediment.** 1996.

HAIRSINE, P.; ROSE, C. Modelling water erosion due to Overland flow using physical principles: 2. Rill flow. Water Resources Research 28 (1), 245–250. 1992a.

HAIRSINE, P.; ROSE, C. **Modelling water erosion due to Overland flow using physical principles: 1**. Sheet flow. Water Resources Research 28 (1), 237–293. 1992b.

HAITH, D.A.; MERRILL, D.E. **Evaluation of a Daily Rainfall Erosivity Model.** American Society of Agricultural Engineers. 1987.

HIDROLOGIA DE GRANDE ESCALA (HGE). **Hidrologia de grande escala**. Disponível em: https://www.ufrgs.br/hge/. Acesso em: 13 marc de 2019.

HUGGINS L. F.; MONKE E. J. **The mathematical simulation of small watersheds. Technical report1**. Water Research Service. US Department of Agriculture. 1966.

HUGHES, A. O.; PROSSER, I. P.; STEVENSO, A.; SCOTT, H. LU.; GALLANT, J.. MORAN, C. J. **Gully Density mapping for Australian river basins.** Technical Report 26/01, CSIRO Land and Water, Canberra, 2001.

IBGE - Censo Demográfico. IBGE 2010.

ISMAIL, J.; RAVICHANDRAN, S. **RUSLE2 Model Application for Soil Erosion Assessment Using Remote Sensing and GIS**. Water Resour Manage. 2007.

JARDIM, P. F.; FLEISCHMANN, A. S.; PELINSON, D.; OLIVEIRA, A. M.; SIQUEIRA, V. A.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB 2017 utilizando o IPH-Hydro Tools. 2017.

KHALEDI DARVISHAN, A.V., ET AL., 2009. Comparison of efficacy and calibration of MUSLE-E and MUSLE-S models in storm-wise sediment estimation. In: The 5th national conference on watershed management. Gorgan, Iran, 22–23 April 2009. (In Persian.)

KHALEGHPANAH, N.; SHORAFA, M.; ASADI, H.; GORJU, M.; DAVARI,M. Modeling soil loss at plot scale with EUROSEM and RUSLE2 at stony soils of Khamesan watershed, Iran. Catena. 2016.

KIM, Y. Soil Erosion Assessment using GIS and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). University of Texas at Austin, 2014.

KINAMA, J.; STOCKING, M.; MAINGI, P. M. **SLEMSA model application for land use management in semi-arid Kenya.** In: Soil Science Society of East Africa Conference, 24. Embu (quênia). **Proceedings. Embu** (Quênia): SSSEA, 2007.

KINNELL, P. I. A. A comparasion of the abilities of the USLE-M, RUSLE2 and WEPP to model event erosion from bare fallow areas. Science of the Total Environment. 2017.

KINNELL, P. I. A. A Review of the Science and Logic Associated with Approach Used in the Universal Soil Loss Equation Family of Models. 2019.

KINNELI, P. I. A. Assistance in using the USLE-M equation. [E-mail]. Mensagem recebida por: peter.kinnell@canberra.edu.au em 18 dezembro 2019.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation Family of models: a review. Journal of Hydrology, 385. 384-397. 2010.

KINNELL, P.I.A. A comparison of the abilities of the USLE-M, RUSLE2 and WEPP to model event erosion from bare fallow areas. Science of the Total Environment. 2017.

KINNELL, P.I.A. Accounting for the influence of runoff on event soil erodibilities associated withh the El30 index in RUSLE 2. Hydrol. Process. 29, 1397-1405. 2015.

KINNELL, P.I.A. AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non point source pollution model. Environmental Modelling & Software. 2000.

KINNELL, P.I.A. Applying the RUSLE and the USLE-M on hillslopes where runoff production during na erosion event is spatially variable. Journal of Hydrology. 2014.

KINNELL, P.I.A. **CLIGEN as a weather generator for RUSLE 2**. Journal Catena. 2018.

KINNELL, P.I.A. Comparison between the USLE, the USLE-M and replicate plots to model rainfall erosion on bare fallow areas. Catena. 2016.

KINNELL, P.I.A. **Slope length for applying the USLE-M to erosion in grid cells**. Soil & Tillage Research. 2001.

KINNELL, P.I.A.; RISSE, L.M. **USLE-M: empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration.** American Soil Science Society Journal, 62, 1662–1672. 1998.

LAFLEN, J.M.; LANE, L.J.; FOSTER, G.R. **WEPP: A new generation of erosion prediction technology.** Journal of Soil and Water Conservation 46, 34–38. 1991.

LAI, Y. G. **River and Watershed Modelling: Current Effort and Future Direction.** In: US-China Workshop on Advanced Computational Modelling in Hydroscience & Engineering, Mississipi: Oxford, 2005.

LAL, R. **Soil Erosion and Carbon Dynamics**. Soil and Tillage Research, vol. 81, p. 137-142, Abril 2005.

LANE, L. J.; HERNANDEZ, M.; NICHOLS, M. **Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale.** Environmental Modelling & Software. 1997.

LENHART. T.; VAN ROMPAEY. A.; STEEGEN, A.; FOHRER, N.; FREDE. H-G. AND GOVERS, G. Considering spatial distribuition and deposition of sediment in lumped and semi-distributed models. Hydrol. Process. 19, 785-794. 2005.

LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A.; CARVALHO, N. DE O.; VIEIRA, M. R.; SILVA, E. M. Suspended Sediment Fluxes in the Large River Basins of Brazil. IAHS-AISH Publication, pp. 355e363, 2005.

LISBOA, A. M., GOMES, G., FAN, F. M., COLLISCHONN, W., & TUCCI, C. E. Uso del modelo MGB en la predicción de caudales en Itaipú. Revista de la Sociedad Científica del Paraguay, V. 20, p. 189-203. 2015.

LITTLEBOY, M.; SILBURN, M.D.; FREEBAIRN, D.M.; WOODRUFF, D.R.; HAMMER, G.L.; LESLIE, J.K. Impact of soil erosion on production in cropping systems. I. Development and validation of a simulation model. Australian Journal of Soil Research 30, 757–774. 1992.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP**. Bragantia, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

LOPES, V. A. R. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada de bacias e sistemas lagunares com influência do vento**. Dissertação de Mestrado. Instituo de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 215 pp. 2017.

LPEZ-TARAZN, J.A., et al. The sediment budget of a highlydynamic mesoscale catchment: the River Isbena. Geomorphology, 138 (1), 15–28. 2012.

LU, H.; MORAN, C. J.; PROSSER, I.P. **Modelling Sediment Delivery Ratio Over the Murrary Darling Basin.** Environmental Modelling & Software, vol. 21, p. 1297-1308, 2006.

LUGER, C.E.M.; MICHAILOVSKY, C.; BASTIAANSSEN, W.; BOGAARD, T. Redesigning the Morgan-Morgan-Finney Soil Erosion Model for Global High-Resolution Application. Environmental Science. 2018.

LYRA, B.U. Efeitos das Alterações no uso da terra sobre o regime hidrológico da bacia hidrográfica do rio Doce. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2018.

MA, H. L.; WANG, Z. L.; ZHOU, X. Estimation of soil loss based on RUSLE in Zengcheng, Guangdong Province. Yangtze River, 41, 90–93, 2010.

MAMEDE, G. **Reservoir sedimentation in dryland catchments**. Unpublished PhD thesis at University of Potsdam, Germany. 2008.

MANOJLOVIC, S.; ANTIC, M.; SANTIC, D.; SIBINOVIC, M.; CAREVIC, I.; SREJIC, T. **Anthropogenic Impact on Erosion Intensity: Case Municipalities, Serbia.** Journal Sustainability. 2018

MATI, B. M.; MORGAN, R.P.C.; QUINTON, J.N. **Soil erosion modelling with EUROSEM at EMBORI and Mukogodo catchments, Kenya**. Earth Suface Processes and Landforms. Published online in Wiley InterScience. 2006.

MCHUGH, M.; WOOD, G,; WALLING, D.; MORGAN, R.; ZHANG, Y.; ANTHONY, S.; MUTCHINS, M. **Prediction of sediment delivery to watercourses from land phase II.** Environment Agency R&D Technical report. 2002.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S.; NORTON, L. D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. Geoderma. 2013. MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. Elsevier. 761-799. 2003.

MILLARES, A.; CHIKH, H. A.; HABI, M.; MORSLI, B.; GALVE, J. P.; PEREZ-PENA, J. V.; MARTÍN-ROSALES, W. Sesonal patterns of suspended sediment load and erosion-transport assessment in a Mediterranan basin. Hydrological Sciences Journal. 2020.

MISRA, R.K.; ROSE, C.W. **Application and sensitivity analysis of process-based erosion model GUEST**. European Journal of Soil Science 47, 593–604. 1996.

MITASOVA H.; BARTON M., ULLAH I.; HOFIERKA, J.; HARMON, R.S. **GIS-Based Soil Erosion Modeling**. In: John F. Shroder (Editor-in-chief), Bishop, M.P. (Volum editor). Treatise on Geomorphology, Vol 3, Remote Sensing and GiSience in Geomorphology, San Diego: Academic Press; 2013. MONDAL, A; KHARE, D.; KUNDU,S. A Comparative Study of Soil Erosion Modeling by MMF, USLE and RUSLE. Geocarto International. 2016.

MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R.A.; PEZZOPANE, J. E. M.; PRUSKI, F. F.; FUKUNAGA, D. C. **Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no espírito Santo.** REVENG. 2012.

MORGAN, R. P. C.; DUZANT, J. H. **Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion**. Earth Surface Processes and Landforms. John Wiley & Sons, Ltd., 33(1), pp. 90– 106. doi: 10.1002/esp.1530.2008.

MORGAN, R. P. C. Soil Erosion & Conservation. 3ª ed. 2005.

MORGAN, R. P.C.; QUINTON, J. N.; SMITH, R.E.; GOVERS, G.; POESEN, J.W.A.; AUERSWALD, K.; CHISCI, G.; TORRI, D.; STYCZEN, M.E. **The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments**. Earth Surface Processes and Landforms. 1998.

MORGAN, R.P.C. A simple approach to soil loss prediction: A revised Morgan– Morgan–Finney model. Catena. 2001.

MORGAN, R.P.C.; MORGAN, D.D.V.; FINNEY, H.J. **A predictive model for the assessment of soil erosion risk.** J. Agric. Eng. Res. 1984.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**. Trans. Asabe, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

MORRIS, G. L.; FAN, J. Reservoir Sedimentation Handbook. 2010.

MUELLER, E. N.; GÜNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE G. **Modelling sediment** export, retention and reservoir sedimentarion in drylands with the WASA-SED model. Geoscientific Model Development, v. 3, n. 1, p. 275-291, 2010.

MUELLER, E.N.; GÜNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. Modelling water availability, sediment export and reservoir sedimentation in drylands with the WASA-SED Model. Geosci. Model Dev. Discuss. 1, 285–314. 2008.

MULLAN, D. Soil erosion under the impacts of future climate change: Assessing the statistical significance of future changes and the pontetial on-se and off-site problems. Catena. 2013.

NAIPAL, V.; REICK, C.; PONGRATZ, J.; VAN OOST, K. Improving the global applicability of the RUSLE model – Adjustment of the topographical and rainfall erosivity factors. Geosci. Model Dev. 2015.

NEARING, M. A.; YIN, S. Q.; BORRELLI, P.; POLYAKOV, V. O. **Rainfall erosivity: An historical review**. Catena. 2017.

NETO, A. A. B.; ZAMPROGNO, D. P.; REIS; J.A.T. Modelagem Espacial da Erosão Utilizando Sensoriamento Remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, porção do Espírito Santo. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. 2009.

NEWHAM, L. T. H.; NORTON, J. P.; PROSSER, I. P.; CROKE, B. F. W.; JAKEMAN, A. J. Sensitivity analysis for assessing the behaviour of a landscape-based sediment source and transport model. Environmental Modelling and Software, v. 18, n. 8–9, p. 741–751, 2003.

NSERL. **WEPP User Summary Version 95.7**. National Soil Erosion Research Laboratory Report No. 11. 1995.

NUGRAHENI, A.; SOBRIYAH; SUSILOWATI. **Perbandingan Hasil Prdiski Laju Erosi Dengan Metode USLE, MUSLE, RUSLE di das Keduang. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil**. 2013.

OLIVEIRA J. R.C. A erosividade da chuva na parte leste do Estado do Pará. M.Sc. Thesis, FCAP.1988.

OLIVEIRA, F.P.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SILVA, M.A.; MELLO, C.R. **Potencial** erosivo da chuva no vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais - primeira aproximação. Ciência e Agrotecnologia 33, 1569–1577. 2009.

OLIVEIRA, P. T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. Catena. 139-147. 2012.

OLIVEIRA, P.T.S.; ALVES, SOBRINHO T.; RODRIGUES, D.B.B; PANACHUKI, E. **Erosion risk mapping applied to environmental zoning**. Water Resources Management 25, 1021–1036. http://dx.doi.org/10.1007/s11269-010-9739-0. 2011a.

PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: bacia do rio Solimões**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PAL, I.; AL-TABBAA, A. Suitability of different erosivity models used in RUSLE2 for the South West Indian region. Environmentalist. 2009.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. **Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.2, p.261-268, 2006.

PANDEY, A.; CHOWDARY, V.M.; MAL, B.C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS e remote sensing. Water Resources Management, v. 21, p. 729-746. 2007.

PANDEY, A.; HIMANSHU, S. K.; MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. Catena Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. Catena, v. 147, p. 595–620, 2016. Disponível em:

http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>.

PAPANICOLAOU, Athanasios (thanos) N. et al. **Sediment Transport Modeling Review—Current and Future Developments. Journal of Hydraulic Engineering.** v. 134, n. 1, p. 1-14, 2008.

PAZ, A. R.; BUARQUE, D. C.; COLLISCHONN, W.; VICTORIA, D. C.; ANDRADE, R.
G. Discretização de modelos hidrológicos de grande escala: grade regular x minibacias. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais do XIX SBRH, 2011.

PINTO, W. P.; LIMA, G. B.; ZANETTI, J. B. Análise Comparativa de Modelos de Séries Temporais para Modelagem e Previsão de Regimes de Vazões Médias Mensais do Rio Doce, Colatina - ES. Revista Ciência e Natura, v. 37. p. 1-11. 2015.

PIRH. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce: Relatório Final-Volume I. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010.

PONTES, P. R. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia do rio da prata**. Tese. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS, 2016.

PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D. **Modelagem** hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 4, p. 888–904, 2015.

PROSSER, I.P.; RUSTOMJI, P.; YOUNG, B.; MORAN, C.; HUGHES, A. **Constructing river basin sediment budgets for the National Land and Water Resources Audit.** Technical Report 15/01. CSIRO Land and Water, Canberra. 2001b.

QUINTELA, R.S.; LOPES, V.A.R.; FAGUNDES, H.O.; FAN, F.M. **Development of a Graphic Interface and a Automatic Calibration Module for MGB-SED Model.** XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos e I Partículas das Américas. 2018.

RENARD, K.; FOSTER, G.; WEESIES, G.; MCCOOL, D.; YODER.: **Predicting soil** erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook No. 703. http://doi.org/DC0-16-048938-5 65–100, 1997.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; PORTER, J. P. **RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation**. Journal of Soil and Water Conservation. 1991.

RENFRO, G.W. Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yield, in present and prospective technology for predicting sediment yield and sources. Washington, USDA, 1975.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. DA G. Quantificação de Perda de Solo por Erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de Técnicas de Geoprocessamento. Anais. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 3039–3046, 2007.

RICHARDSON, C. W.; FOSTER, G. R.; WRIGHT, D. A. **Estimation of erosion index from daily rainfall amount**. Soil and Water Division of ASAE. 1983.

RODRIGUES, K. C. E. S.; CALIXTO, L. M. **Comparação entre os métodos de propagação de vazão muskingum-cunge e inercial utilizando o modelo MGB na bacia do rio doce**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Espírito Santo. 2018.

ROO, A. P. J.; JETTEN, V. G. Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from the Netherlands and South Africa. Catena, v. 37, n. 3-4, p.477-493, 1999.

ROSE, C.W. **Erosion and sedimentation.** In: Bonell, M., Hufschmidt, M.M., Gladwell, J.S. (Eds.), Hydrology and Water Management in the Humid Tropics: Hydrological Research Issues and Strategies for Water Management. Cambridge University Press, pp. 301–343. 1993.

ROSSINI, R. B.; FAN, F. M. Hydrological modelling parameters transfer of a hydrosedimentologycal response unit map. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2019.

ROSSINI, R. B.; FAN, F. M.; LOPES, V. A. Estimativa da descarga sólida de sedimentos em suspensão para o lago Guaíba/RS através da modelagem hidrossedimentológica de grande escala. XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, I Partículas das Américas. 2018.

ROUSTSCHEK, A.; SCHMIDT, J.; KREIENKAMP, F. Impact of climate change on soil erosion – A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany. Catena. 2014.

SADEGHI S.H.R.; L. GHOLAMI; A. KHALEDI DARVISHAN; P. SAEIDI; **A review of the application of the MUSLE model worldwide**. Hydrological Sciences Journal, 59:2, 365-375, DOI: 10.1080/02626667.2013.866239. 2014.

SADEGHI, S.H.; MIZUYAMA, T. & VANGAH, B.G. Conformity of MUSLE estimates and erosion plot data for stormwise sediment yield estimation. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 18:117-128, 2007.

SADEGHI, S.H.R.; GHOLAMI, L.; DARVISHAN, K.; SAEIDI, P. A review of the application of the MUSLE model worldwide. Hidrological Sciences Journal. 2013.

SANTOS. J. Y. G. Análise Espaço-temporal de Processos Hidrossedimentológicos na Bacia do Rio Tapacurá (Pernambuco, Brasil). Tese de Doutorado. UFP. 2015. SELKER, J.S.; HAITH, D.A.; REYNOLDS, J.E. **Calibration and Testing of a Daily Rainfall Erosivity Model.** American Society of Agricultural Engineers. 1990.

SHEN, Z.; GONG, Y.; LI, Y.; LIU, R. Analysis and modeling of soil conservation measures in the Three Gorges Reservoir Area in China. Catena. 2010.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. Catena. 2004.

SILVA, D. S.; MEDEIROS, J. D. F. **Aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRhidro, Maceió-AL. 2018.

SILVA, F. D. G. B. DA; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. **Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP(EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 2, p. 141–148, 2010.

SILVA, R. C. V.; WILSON, J. G. Hidráulica Fluvial. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2005.

SINGH, R. K.; PANDA, R. K.; SATAPATHY, K. K.; NGACHAN, S. V. Simulation of runoff and sediment yield from a hilly watershed in the eastern Himalaya, India using the WEPP model. Journal of Hydrology. 2011.

SINGH, R. V.; PANUSKA, J.; THOMPSON, A. M. Estimating Sediment Delivery Ratio for Grassed Waterways using WEPP. Land Degradation & Development. 2017.

SIQUEIRA, V. A.; FLEISCHMANN, A.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. IPH-Hydro Tools: uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a um ambiente SIG. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 1, p. 274-287, 2016.

SIQUEIRA, V. A.; PAIVA, R. C. D.; FLEISCHMANN, A. S.; FAN, F. M.; RUHOFF, A. L.; PONTES, P. R. M.; PARIS, A.; CALMANT, S.; COLLISCHONN, W. Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America. Hydrology and Earth System Sciences, v. 22, p. 4815-4842. 2018.

SOUZA, M. L. Proposta de um Sistema de Classificação de Feições Erosivas voltados à Estudos de Procedimentos de Análises de Decisões quanto a Medidas Corretivas, Mitigadoras e Preventivas: Aplicação no Município de Umuarama (PR). Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – UNESP, Rio Claro. 2001.

SPALEVIC, V.; LAKICEVIC, M.; RADANOVIC, D.; BILLI, P.; BAROVIC, G.; VUJACIC, D.; SESTRAS, P.; DARVISHAN, A. K. Ecological-Economic (Eco-Eco) Modelling in the River Basins of Mountainous Regions: Impact of Land Cover Changes on Sediment Yield in the Velicka Rijeka, Montenegro. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2017. STEFANO C.D.; FERRO, V.; PAMPALONE, V. **Testing the USLE-M Family of Models at the Sparacia Experimental Site in South Italy.** Journal Hydrol. Eng. 2017.

STEFANO, C.D.; FERRO, V.; BURGUET,M.; TAGUAS, E.V. **Testing the long term applicability of USLE-M equation at a olive orchard microcatchment in Spain**. Catena, 2016.

STOCKING, M.; CHAKELA, Q.; ELWELL, H. An Improved Methodology for Erosion Hazard Mapping Part I: The Technique. Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography, v. 70, n. 3, p. 169-181, 1988.

SUEKAME, H. K.; COMMAR, L. F. SA; GONÇALVES, F. V.; CARVALHO, G. A.; CAMPOS, M.; PEREIRA, R. B. **Modelagem Hidrológica de larga escala com abordagem inercial / Large scale Hydrological modeling with inercial approach.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 2, p.6615-6625, ISSN 2525-8761. 2020.

TAN, A. Impacts of future climate and landuse on water resources in Espírito Santo, Brazil. Dissertation. University of Washington. 2015.

TAN, Z.; LEUNG, L. R.; LI, H. Y.; TESFA, T. Modeling sediment yield in land surface and earth system models: model comparison, development, and evaluation. Journal of Advances in Modeling Earth Systems. 2018.

TOY, T. J.; FOSTER, G.R. AND RENARD, K.G. **Soil Erosion: Processes**, **Predicition, Measurement and Control.** New York: John Wiley & Sons, 338p. 2002.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. ABRH, 2.ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: ABRH, 1998.

USDA. Draft Science Documentation: Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2). USDA-Agricultural Research Service, Washington, D.C. http://wwwars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/RUSLE2_User_Ref_Guide. pdf. 2008.

VAEZI, A.R.; SADEGHI, S.H.R. **Evaluating the RUSLE model and developing an emprical equation for estimating soil erodibility factor in a semi-arid region**. Spanish Journal Of Agricultural Research. 2011.

VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G. Á.; VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G. Á.; FORMAGGIO, A. R.; et al. Determinação de Sequências Culturais em Microbacia Hidrográfica para Caracterização do Fator C da EUPS, Utilizando Fotografia Aérea. VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 63–67, 1996.

VENTE, J.; POESEN, J.; ARABKHEDRI, M.; VERSTRAETEN, G. The sediment delivery problem revisited. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 2007.

VENTE, J.; POESEN, J.; VERSTRAETEN, G.; GOVERS, G.; VANMAERCKE, M.; ROMPAEY, A. B.; ARABKHEDRI, M.; FAYOS, C. B. **Predicting soil erosion and sediment yield at regional scales: Where do we stand?** Earth-Science Reviews. 2013.

VERSTRAETEN G.; PROSSER, I.P.; FOGARTY, P. **Predicting the spatial patterns** of hillslope sediment delivery to river channels in the Murrumbidgee catchment, Australia. Journal of Hydrology. 2007.

VIEIRA, D.CS.; PRATS, S.A.; NUNES, J. P.; SHAKESBY, R.A.; COELHO, C.O.A.; KEIZER, J.J. Modelling runoff and erosion, and their mitigation, in burned **Portuguese forest using the revised Morgan-morgan-finney model.** Forest Ecology and Management. 2014.

VIGIAK, O.; BORSELLI, L.; NEWHAM, L.T.H.; MCLNNES, J.; ROBERTS, A. M. **Comparasion of conceptual landscape metrics to define hillslope-sclae sediment delivery ratio.** Geomorphology. 2012.

VIGIAK, O.; MALAGO, A.; BOURAOUI, F.; VANMAERCKE, M.; POESENM J. Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large Basins. Science of The Total Environment. 2015.

VINEY, N.R.; SIVAPALAN, M. A conceptual model of sediment transport: application to the Avon River Basin in Western Australia. Hydrological Processes 13, 727–743. 1999.

VINEY, N.R.; SIVAPALAN, M.; DEELEY, D. A conceptual model of nutrient mobilisation and transport applicable at large catchment scales. Journal of Hydrology 240, 23–44. 2000.

WALLING, D. E. **The sediment delivery problem.** Journal of hydrology, v. 65, n. 1, p. 209-237. 1983.

WALLING, D.E. **Measuring sediment yield from river basins**. In: LAL, R., ed. Soil erosion research methods. Ankeny, SWCSA, 1988.

WEN, X.; ZHEN, L. Soil Erosion Control Practices in the Chinese Loess Plateau: A systematic review. Environmental Development. 2020.

WILKINSON, S. N.; PROSSER, I. P.; RUSTOMJI, P.; READ, A. M. Modelling and testing spatially distributed sediment budgets to relate erosion processes to sediment yield. Environmental Modelling & Software, v. 24, n. 4, p. 489-501, 2009.

WILLIAMS, J. R. Chapter 25. **The EPIC Model. In: Computer Models of Watershed Hydrology**. Water Resources Publications. Highlands Ranch, CO. p. 909-1000, 1995.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In.: Proceedings of the Sediment-Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi. 1975.

WILSON, J.P.; GALLANT, J.C. Digital Terrain Analysis. In: Wilson, J.P. and Gallant, J.C., Eds., **Terrain Analysis: Principles and Applications,** John Wiley & Sons, New York, 1-27. 2000.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall losses: A guide to conservation planning.** USDA Agricultural Handbook No. 537. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D. C. 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Rainfall energy and its relationship to soil loss.** In: Transactions American Geophysical Union. v. 39. p. 285-291. 1958.

WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Science Society of America Journal 23, 246–249. 1959.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains.** Agriculture Handbook. 282. USDA-ARS. 1965.

WMO (World Meteorological Organization). **Manual on Sediment Management and Measurement.** Operational Hydrology Report n. 47, Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, 2003.

WOZNICKI, S. A.; NEJADHASHEMI, A. P. **Spatial and temporal variabilities of sediment delivery ratio.** Water Resour Manage. 2013.

WU, Weiming. **Computational river dynamics**. Londres: Taylor & Francis Group, 494 p. 2008.

YANG, C. T. **Incipient motion and sediment transport.** J. Hydraul. Eng, v 10, p. 1679–1704, 1973.

YOUNG, R.A.; ONSTAD, C.A.; BOSCH, D.D.; ANDERSON, W.P. **AGNPS: A non point-source pollution model for evaluating agricultural watersheds**. Journal of Soil and Water Conservation 44 (2), 4522–4561. 1989.

YU, B.; ROSEWELL, C.J. Evaluation of WEPP for runoff and soil loss prediction at Gunnedah, NSW, Australia. Aust. J. Soil Res. 2001.

ZAMMIT, C.; SIVAPALAN, M.; VINEY, N.R.; BARI, M. Improvement of physical basis of conceptual model, LASCAM, with explicit inclusion of within catchment heterogeneity of landscape atributes. International Congress on Modelling and Simulation. 2003.

ZANANDREA, F.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P. **Conectividade hidrossedimentológica: uma abordagem conceitual.** Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2017.

ZHANG, X.; WU, S.; CAO, W.; GUAN, J.; WANG, Z. **Dependence of the sediment delivery ratio on scale and its fractal characteristics.** International Journal of Sediment Research. 2015.

ANEXO A – FORMULAÇÕES MATEMÁTICAS DO MGB-SED

A.1 Módulo Bacia

A erosão do solo na bacia é estimada para cada unidade de resposta hidrológica *j* da minibacias *i*, utilizando a equação MUSLE (Williams, 1975). Como sua aplicação neste modelo é para grandes bacias, são utilizadas informações obtidas diretamente do MDE a partir de aplicações SIG e algoritmos computacionais. Considerando que o MDE é uma representação espacial da topografia em formato raster, sua estrutura pode ser descrita por uma matriz k < l, c >, de *l* linhas e *c* colunas, que armazena informações em $l \times c$ posições (pixels). No modelo a MUSLE foi aplicada a cada pixel, de forma que a equação original pode ser escrita como:

$$SED_{i,j}^{k} = 11,8 * \left(Dsup_{i,j}^{k} * qpico_{i,j}^{k} * Ap_{i,j}^{k} \right)^{0,56} * K_{j} * C_{j} * P_{j} * LS_{i,j}^{K} * FG_{j}$$
(A.1)

Sendo $i \in j$ índices que indicam a minibacias e a URH, k o pixel ao qual a equação está sendo aplicada e Ap [ha] é a área do pixel.

O volume de escoamento superficial (Dsup) é simulado e fornecido pelo módulo hidrológico do modelo, e a taxa de pico do escoamento superficial em cada pixel k é obtida considerando um volume de escoamento uniforme ao longo do dia.

$$qpico_{i,j}^{k} = \frac{Dsup_{i,j}^{k} * A_{i,j}^{k}}{86.4}$$
(A.2)

Para o cálculo do fator K, de erodibilidade do solo, são necessárias apenas informações sobre as porcentagens de silte, argila, areia e matéria orgânica de cada tipo de solo da bacia.

$$K_j = Fag_j * Fcs_j * Forg_j * Fa_j \tag{A.3}$$

Fag é o fator de areia grossa, e seus valores são baixos para solos com grande quantidade de areia, e altos para solos com pouca areia; Fcs é o fator argila-silte, que reduz o valor de *K* para solos com elevada concentração de silte; Forg é o fator que 183 reduz o valor de K de solos com grandes quantidades de carbono orgânico e Fa é o fator que reduz o valor de K em solos com elevada quantidade de areia. Esses valores são calculados por Williams (1995) como:

$$Fag_{j} = 0.2 + 0.3 * \exp\left[-0.256 * SAN_{j} * \left(1 - \frac{SIL_{j}}{100}\right)\right]$$
(A.4)

$$Fcs_j = \left(\frac{SIL_j}{ARG_j + SIL_j}\right)^{0,3}$$
(A.5)

$$Forg_{j} = 1 - \frac{0.25 * orgC_{j}}{orgC_{j} + \exp(3.72 - 2.95 * orgC_{j})}$$
(A.6)

$$Fa_{j} = 1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{SAN_{j}}{100}\right)}{\left(1 - \frac{SAN_{j}}{100}\right) + \exp\left[-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{SAN_{j}}{100}\right)\right]}$$
(A.7)

Sendo *SAN*, *SIL*, *ARG* e *orgC* são as porcentagens de areia, silte, argila e carbono orgânico, respectivamente, presentes na camada superior do solo de uma URH *j*.

O fator topográfico LS se refere a junção dos fatores comprimento da rampa L e declividade S, representando a contribuição do escoamento superficial no processo de erosão hídrica.

A equação do fator *L* aplicada a cada pixel do MDE é escrita da seguinte maneira:

$$L_k = \frac{(Am_k + Lp_k^2)^{m+1} - Am_k^{m+1}}{Lp^{m+2} * Xdir_k^m * (22,13)^m}$$
(A.8)

Sendo *L* [-] o fator de comprimento do pixel *k*, *Am* [m²] a área de drenagem acumulada na entrada do pixel, que corresponde ao somatório das áreas das superfícies de todos os pixels de montante; *Lp* [m] a largura do pixel; *Xdir* [-] o fator de direção de aspecto para o pixel, que é definido como igual a 1 se a direção entre os pixels for ortogonal ou igual a $\sqrt{2}$ se a direção for ortogonal; *m* [-] é um expoente do comprimento do declive, que pode ser obtido pelas condições apresentadas na abaixo:

Valor de m	Condição
0,2	Sf < 1
0,3	$1 \leq Sf < 3$
0,4	$3 \le Sf < 5$
0,5	$Sf \ge 5$

Sf [%] corresponde à declividade do pixel.

A declividade Sf estima a taxa de variação da elevação na direção do maior declive e é obtido no modelo para cada pixel, utilizando as elevações z [m] dos seus quatros vizinhos nas direções ortogonais, de acordo com Wilson e Gallant (2000).

$$Sf = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$$
 (A.9)

Onde $\partial z/\partial x \in \partial z/\partial y$ são derivadas parciais de primeira ordem que descrevem a taxa de variação local da elevação z [m] com as distâncias ortogonais $x \in y$, e são calculadas utilizando diferenças finitas centradas:

$$\frac{\partial z}{\partial x} \approx \frac{z_l^{c+1} - z_l^{c-1}}{2 * Lp}$$
(A.10)

$$\frac{\partial z}{\partial y} \approx \frac{z_{l+1}^c - z_{l-1}^c}{2 * Lp} \tag{A.11}$$

Sendo I e c correspondem à linha e coluna que determinam a posição do pixel na matriz k < l, c >.

O fator de declividade *S* é calculado conforme Wischmeier e Smith (1978):

$$S_k = 65,41 * \sin^2(\theta_k) + 4,56 * \sin(\theta_k) + 0,065$$
(A.12)

Em que θ é o valor de *Sf* em graus.

O fator de fragmentos grosseiros considera a possibilidade de existência de rochas na camada superior do solo, e seu valor é estimado por:

$$FG = \exp\left(-0.053 * frocha\right) \tag{A.13}$$

Onde *frocha* [%] corresponde à porcentagem de rocha na camada superior do solo.

O volume total de sedimentos gerados em cada URH de uma minibacia e armazenado no reservatório é calculado pela equação abaixo:

$$VSED_{i,j}^{t} = VSED_{i,j}^{t-1} + \sum_{k=1}^{NP_{j}} VSED_{i,j}^{k}$$
(A.14)

Sendo $VSED_{i,j}$ [t] é o volume no reservatório de sedimentos da URH *j* da minibacia *i* em questão; *NP* é o número de pixels da URH; e os índices *t* e *t* – 1 indicam os passos de tempo atual e anterior respectivamente.

A descarga sólida QS [t.s⁻¹] de saída é estimada para cada URH e calculada por:

$$QS_{i,j}^t = \frac{1}{TKS_i} * VSED_{i,j}^t$$
(A.15)

Onde *TKS* [s] corresponde ao tempo de retardo do reservatório superficial.

O total de sedimentos aportado de cada minibacias é dividido em três classes: silte, argila e areia. Cada classe é definida de acordo com sua porcentagem na camada superior de cada tipo de solo das URH, dadas pelos parâmetros *SIL*, *ARG*, *SAN*, respectivamente. O aporte das três classes de partículas de cada minibacias com destino à rede de drenagem é calculado por:

$$SEDsil_{i}^{t} = \sum_{j=1}^{N_{URH}} \left(QS_{i,j}^{t} * FRAC_{i,j}^{t} * SIL_{j} \right) * \Delta t$$
(A.16)

$$SEDarg_{i}^{t} = \sum_{j=1}^{N_{URH}} \left(QS_{i,j}^{t} * FRAC_{i,j}^{t} * ARG_{j} \right) * \Delta t$$
(A.17)

$$SEDsan_{i}^{t} = \sum_{j=1}^{N_{URH}} \left(QS_{i,j}^{t} * FRAC_{i,j}^{t} * SAN_{j} \right) * \Delta t$$
(A.18)

Em que *SEDsil* [t], *SEDarg* [t], *SEDsan* [t] são as cargas de silte, argila e areia, respectivamente, que saem do reservatório de sedimentos e chegam à rede de drenagem em cada passo de tempo Δt . O termo *FRAC* corresponde a fração do volume de sedimentos existente no reservatório correspondente a cada URH da minibacia, obtido por:

$$FRAC_{i,j}^{t} = \frac{VSED_{i,j}^{t}}{\sum_{j=1}^{N_{URH}} VSED_{i,j}^{t}}$$
(A.19)

B.2 Módulo rio

O processo de transporte em suspensão das cargas finas, silte e argila, na rede de drenagem é representado por um modelo de escoamento não permanente que considera que a velocidade do escoamento e os processos advectivos são dominantes. A equação de transporte é dada por:

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial AUC}{\partial x} = q_{sm} - q_{sfl} \tag{A.20}$$

Onde A [m²] a área molhada da seção; C [t.m⁻³] a concentração média de sedimento, U [m.s⁻¹] é a velocidade média do escoamento na seção; x [m] é a distância na direção do escoamento; t [s] o tempo; q_{sm} [t.m⁻¹.s⁻¹] é a contribuição lateral de sedimentos da minibacia; e q_{sfl} [t.m⁻¹.s⁻¹] é a descarga de troca de sedimentos entre o rio e a planície de inundação, por unidade de comprimento do rio, considerada diferente de zero apenas nos trechos com propagação de vazões pelo modelo hidrodinâmico.

A equação de transporte é resolvida numericamente, aplicado para cada trecho, de montante para a jusante, para cada classe de partícula em suspensão por meio de um esquema implícito progressivo no tempo e no espaço:

$$\frac{A_{i}^{t} * C_{i}^{t} - A_{i}^{t-1} * C_{i}^{t-1}}{\Delta t} + \theta * \frac{Q_{i}^{t} * C_{i}^{t} - Q_{i}^{t-1} * C_{i}^{t-1}}{\Delta x} + (1 - \theta) \\ * \frac{Q_{i}^{t-1} * C_{i}^{t-1} - Q_{i-1}^{t-1} * C_{i-1}^{t-1}}{\Delta x} = q_{sm}^{t} - q_{sfl}^{t}$$
(A.21)

onde Q [m³.s⁻¹] a vazão líquida; os índices i - 1 e i referindo-se às seções transversais do rio a montante e a jusante do trecho; os índices t - 1 e t referindo-se ao início e ao final do intervalo de tempo; [s] o intervalo de tempo de cálculo; o comprimento do trecho de rio (m) da minibacia; e o ponderador dos termos temporais, cujo valor varia entre 0 e 1.

O transporte das partículas de areia nos trechos de rios das minibacias é realizado utilizando a equação de Exner (CHANG, 1988), também chamada de equação da continuidade de sedimentos.

$$(1-\lambda)\frac{\partial A_b}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} - q_{sm} = 0$$
(A.22)

sendo *Ab* [m²] é a área transversal de um reservatório de sedimentos de fundo correspondente ao volume depositado ou erodido no trecho; *QS* [t.s⁻¹] é a descarga sólida de sedimento do leito; q_{sm} [t.m⁻¹.s⁻¹] é a contribuição lateral de sedimentos da minibacia; e λ é a porosidade do depósito.

A variação da área transversal correspondente ao volume depositado ou erodido pode ser explicitada em função das outras variáveis.

$$\Delta A_b = -\frac{\Delta t}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q_s}{\partial x} - q_{sm} \right) \tag{A.23}$$

Onde o termo de derivada espacial de *QS* representa o gradiente de sedimentos no trecho, comparando a concentração que entra com a que sai. Essa equação é resolvida utilizando um esquema implícito considerando, inicialmente, que a concentração de sedimentos de fundo na seção de jusante do trecho ao final do intervalo de tempo corresponde à Capacidade de Transporte do escoamento nesta seção.

$$\Delta A'_{b_{i}}^{t} = -\frac{\Delta t}{1-\lambda} \\ * \left[\theta * \frac{Q_{i}^{t}CT_{i}^{t} - Q_{i-1}^{t}CT_{i-1}^{t}}{\Delta x} + (1-\theta) * \frac{Q_{i}^{t-1}CT_{i}^{t-1} - Q_{i-1}^{t-1}CT_{i-1}^{t-1}}{\Delta x} - \frac{QS_{m}^{t} + QS_{m}^{t-1}}{2 * \Delta x}\right]$$
(A.24)

Onde *CT* [ppm] é a concentração de sedimentos correspondente a Capacidade de Transporte do escoamento na seção *i* de interesse. Em termos de área transversal *Ab* do volume depositado ou erodido, uma variação positiva da área *Ab* indica tendência à deposição no trecho, sendo o contrário indicativo de tendência à erosão.

O MGB-SED considera que o volume de sedimentos disponível para erodir será sempre suficiente para suprir a capacidade de transporte. Mas em um passo de tempo do modelo nem todo o excesso ou déficit de sedimentos no escoamento pode ser convertido em depósito ou erosão, respectivamente, ao longo do trecho de rio, e para tal situação, foram adotados limitadores de deposição e erosão.

$$\alpha_d = \frac{\omega_s * \Delta t}{H_{ef}} \tag{A.25}$$

Onde αd é o coeficiente de eficiência de deposição, ωs é a velocidade de queda da partícula, Δt é o intervalo de tempo e *Hef* é a distância vertical efetiva.

$$\begin{array}{ll} \alpha_e & \text{Condição} \\ 1,368 * exp^{-\left(\frac{\Delta x}{30h}\right)} & \text{Para } \Delta x \leq 30h \end{array}$$

Para
$$\Delta x > 30h$$

Em que αe é o coeficiente de eficiência de erosão, Δx é a distância percorrida pelo escoamento e *h* é a profundidade do escoamento.

1

Considerando que tanto a erosão quanto a deposição ocorrem de forma uniforme do fundo do trecho de rio, o volume de sedimentos depositado ou erodido é dado por:

$$DEP^{t} = \left(\Delta A'_{b}^{t} * \alpha_{d}\right) * \Delta x = \Delta A_{b}^{t} * \Delta x \qquad \text{se } \Delta A'_{b}^{t} > 0 \qquad (A.26)$$

$$EROS^{t} = -(\Delta A'_{b}^{t} * \alpha_{e}) * \Delta x = -\Delta A_{b}^{t} * \Delta x \qquad \text{se } \Delta A'_{b}^{t} < 0 \qquad (A.27)$$

Sendo *b* a variação real da área transversal do reservatório de sedimentos de fundo, ao final do intervalo de tempo *t*. No caso de ocorrência de deposição, o percentual da carga não depositada no passo de tempo fica disponível para ser transportada, ou depositada, no próximo passo de tempo e a concentração propagada para jusante é igual à capacidade de transporte.

A concentração de sedimentos na seção de jusante do trecho ao final do intervalo de tempo, efetivamente propagada para jusante como carga de fundo é recalculada a partir da equação abaixo:

$$C_{i}^{t} = \frac{\left(\frac{QS_{m}^{t} + QS_{m}^{t-1}}{\Delta x}\right) + \theta * Q_{i-1}^{t} * C_{i-1}^{t} - (1 - \lambda) * \Delta x * \frac{\Delta A_{b}^{t}}{\Delta t}}{\theta Q_{i}^{t}}}{-\frac{(1 - \theta) * (Q_{i}^{t-1} * C_{i}^{t-1} - Q_{i-1}^{t-1} * C_{i-1}^{t-1})}{\theta Q_{i}^{t}}}$$
(A.28)

Sendo ΔA_b^t [m²] a variação real da área transversal do reservatório de sedimentos de fundo.

Em todas as seções, e em todos os intervalos de tempo, o modelo calcula a capacidade de transporte para a classe de partícula utilizando a equação de Yang (Yang, 1973, 1984), escrita como (Wu, 2008).

$$logCT_i^t = M_i^t + N_i^t * log\left(\frac{U_i^t * S_f}{\omega_s} - \frac{Uc_i^t * S_f^t}{\omega_s}\right)$$
(A.29)

Sendo *CT* [ppm] a concentração por peso; *U* [m.s⁻¹] a velocidade média na seção; *Uc* [m.s⁻¹] é a velocidade média crítica do escoamento; *Sf* é a declividade de atrito e ω_s é a velocidade de queda da partícula.

Os coeficientes *M* e *N* são calculados para sedimentos com diâmetros *d* entre 0,063 e 2 mm de diâmetro por:

$$M_{i}^{t} = 5,435 - 0,286 + \log\left(\frac{\omega_{s} * d}{\nu}\right) - 0,457 * \log\left(\frac{U_{*i}^{t}}{\omega_{s}}\right)$$
(A.30)

$$N_i^t = 1,799 - 0,409 + \log\left(\frac{\omega_s * d}{\nu}\right) - 0,314 * \log\left(\frac{U_{*i}^t}{\omega_s}\right)$$
(A.31)

Para sedimentos de 2 mm a 10 mm de diâmetro, os coeficientes são calculados por:

$$M_{i}^{t} = 6,681 - 0,633 + \log\left(\frac{\omega_{s} * d}{\nu}\right) - 4,816 * \log\left(\frac{U_{*i}^{t}}{\omega_{s}}\right)$$
(A.32)

$$N_i^t = 2,874 - 0,305 + \log\left(\frac{\omega_s * d}{\nu}\right) - 0,282 * \log\left(\frac{U_{*i}^t}{\omega_s}\right)$$
(A.33)

Sendo U_* é a velocidade de cisalhamento, dada por:

$$U_* = \sqrt{g * Rh * S_f} \tag{A.34}$$

Onde Rh é o raio hidráulico da seção e g é a aceleração da gravidade.

A velocidade média crítica do escoamento é determinada conforme a fórmula de Yang (1973).

$$\frac{U_c}{\omega_s}$$
 Condição

$$0,66 + \frac{2,25}{\left[\log\left(\frac{U_* * d}{v}\right) - 0,06\right]} \quad \text{se} \quad 1,2 < \frac{U_* * d}{v} < 70$$

$$2,05 \quad \text{se} \quad \frac{U_* * d}{v} \ge 70$$

Sendo a velocidade de queda da partícula determinada utilizando a equação proposta por Wu e Wang (2006):

$$\omega_{s} = \frac{M * \nu}{N * d} * \left[\sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{4 * N}{3 * M^{2}} * D_{*}^{3}\right)^{\frac{1}{np}}} - \frac{1}{2} \right]^{np}$$
(A.35)

Sendo,

$$M = 53.5 * exp^{(-0.65 * S_p)} \tag{A.36}$$

$$N = 5.65 * exp^{(-2.5*S_p)} \tag{A.37}$$

$$np = 0.7 + 0.9 * S_p \tag{A.38}$$

$$D_{*} = d * \left[\frac{\left(\frac{\rho_{s}}{\rho} - 1\right) * g}{\nu} \right]^{\frac{1}{3}}$$
(A.39)

Onde S_p é o fator de forma de Corey, d [m] é o diâmetro nominal representativo da classe de partícula, D_* é o diâmetro adimensional da partícula e $\frac{\rho_s}{\rho} = G \approx 2,65$ é a gravidade específica do sedimento.

A determinação dos parâmetros de velocidade de cisalhamento U_* , raio hidráulico Rh, profundidade h e declividade de atrito Sf dependem do método adotado para propagação das vazões em cada trecho de rio. No método de Muskingum Cunge a declividade de atrito é considerada equivalente à declividade de fundo S_0 extraída automaticamente do modelo digital de elevação, e em todas as seções e intervalos de tempo a profundidade h da água é estimada pena equação de Manning, assumindo raio hidráulico igual à profundidade h. Porém com a aplicação dos métodos hidrodinâmico e inercial a profundidade em cada seção em cada passo de tempo é estimada pelo modelo e a declividade de atrito passa a ser calculada. Para o modelo hidrodinâmico dá se por:

$$S_{f}^{t} = \frac{n^{2} * \overline{U}^{t} * |\overline{U}^{t}|}{(Rh^{t})^{\frac{4}{3}}}$$
(A.40)

Onde n é o coeficiente de rugosidade de Manning, e \overline{U} e Rh são a velocidade e o raio hidráulico médios no trecho. Já para o modelo inercial, a declividade de atrito passou a ser calculada por:

$$S_{f}^{t} = \frac{n^{2} * Q_{0}^{t} * |Q_{0}^{t}|}{(hflow^{t})^{\frac{10}{3}}}$$
(A.41)

Onde hflow refere-se à profundidade na seção transversal e Q_0 é a razão entre a vazão da minibacia e a largura do canal.

B.3 Módulo planície

A vazão líquida de troca rio-planície q_{fl} [m³.s⁻¹] é dada pelo modelo hidrológico. Se a mesma for positiva, haverá uma fuga de água do rio para a planície com uma concentração de sedimentos finos igual a concentração média existente no trecho de rio, entre as seções de montante e jusante, ao final do intervalo de tempo. Para cada classe de partícula em suspensão, a descarga sólida QS_{fl} [t.s⁻¹] de troca entre rio e planície no final do intervalo de tempo de tempo é estimada por:

$$QS_{fl}^{t} = q_{sfl}^{t} * \Delta x = q_{fl}^{t} * \left(\frac{C_{i}^{t} + C_{i-1}^{t}}{2}\right) * \Delta x$$
(A.42)

Caso q_{fl} seja negativo, existe fuga de água da planície para o rio com concentração igual à concentração C_{fl} [t.m⁻³] existente na planície, resultando numa descarga sólida igual a:

$$C_{fl}^{*^{t}} = \frac{C_{fl}^{t-1} * V_{fl}^{t-1} + \left(\frac{q_{fl}^{t-1} + q_{fl}^{t}}{2}\right) * \Delta x * \Delta t}{V_{fl}^{t}}$$
(A.43)

Sendo V_{fl} [m³] o volume de água existente na planície, dado pela multiplicação da sua profundidade média H_{fl} [m] pela área alagada média A_{fl} [m²], estimadas no modelo

hidrodinâmico. No caso do modelo inercial, o volume da planície é estimado diretamente pelo modelo. Em cada intervalo de tempo e para cada classe de partícula fina, parte da carga em suspensão poderá depositar, reduzindo a concentração. O percentual de sedimentos depositado na planície é determinado comparando a profundidade média da planície H_{fl} com a distância vertical média percorrida por cada classe de partícula no intervalo de tempo, a qual é função de sua velocidade de queda ws [m.s⁻¹]. O volume depositado ao final do passo de tempo é dado por:

$$DEP_{fl}^{t} = C_{fl}^{t} * V_{fl}^{t} * \left(\frac{\omega_{s} * \Delta t}{H_{fl}}\right)$$
(A.44)

E a concentração ao final do intervalo de tempo é:

$$C_{fl}^{t} = C_{fl}^{*^{t}} - \frac{DEP_{fl}^{t}}{V_{fl}^{t}}$$
(A.45)

ANEXO B – PARÂMETROS CALIBRÁVEIS DO MGB PARA A BACIA DO RIO DOCE

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	800,0	0,8	6,0	25,0	0,68	0,0	0,1
	2	1000,0	0,8	6,0	15,0	0,68	0,0	0,1
	3	700,0	0,8	6,0	25,0	0,68	0,0	0,1
_	4	1000,0	0,8	6,0	15,0	0,68	0,0	0,1
ia ,	5	500,0	0,8	6,0	25,0	0,68	0,0	0,1
aci	6	800,0	0,8	6,0	15,0	0,68	0,0	0,1
- - -	7	500,0	0,8	6,0	25,0	0,68	0,0	0,1
Sul	8	400,0	0,8	6,0	15,0	0,68	0,0	0,1
	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	20						
	CI	50						
	СВ	2500						
	QB	0,01						

Tabela B-1: Parâmetros calibráveis do MGB da sub-bacia 1 a 60, respectivamente.

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	800,0	0,5	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,5	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
3	800,0	0,5	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
4	1000,0	0,5	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
5	600,0	0,5	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
6	800,0	0,5	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	0,5	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,5	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	150						
СВ	2400						
QB	0,01						

_	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	800,0	0,6	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
	2	1200,0	0,6	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
	3	700,0	0,6	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
	4	1000,0	0,6	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
	5	600,0	0,6	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
	6	900,0	0,6	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
	7	500,0	0,6	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
	8	300,0	0,6	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	20						

Sub-bacia 2

CI CB	50 2500						
QD	0,01				M	045	
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	WC
1	600,0	0,2	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,3	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
3	500,0	0,2	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
4	800,0	0,3	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
5	300,0	0,2	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	0,3	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
7	300,0	0,2	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	0,2	6,0	30,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	50						
СВ	7000						
QB	0,01						
					M		
URH	vvm	Ø	Kbas	Kint	XL	CAP	VVC

-						-	-
1	800,0	0,22	4,5	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,22	4,5	15,0	0,68	0,0	0,1
3	800,0	0,22	4,5	25,0	0,68	0,0	0,1
4	1000,0	0,22	4,5	15,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,22	4,5	25,0	0,68	0,0	0,1
6	800,0	0,22	4,5	15,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	0,22	4,5	25,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,22	4,5	15,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						
СВ	3000						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	800,0	0,52	9,5	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,52	9,5	15,0	0,68	0,0	0,1
3	800,0	0,52	9,5	25,0	0,68	0,0	0,1
4	1000,0	0,52	9,5	15,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,52	9,5	25,0	0,68	0,0	0,1
6	800,0	0,52	9,5	15,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	0,52	9,5	25,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,52	9,5	15,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						
СВ	3000						

Sub-bacia 4

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	800,0	0,55	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,45	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
3	700,0	0,55	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
4	1000,0	0,45	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,55	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
6	800,0	0,45	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	0,55	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,45	6,0	40,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	200						
СВ	1200						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	600,0	0,8	15,5	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,8	15,5	25,0	0,68	0,0	0,1
3	600,0	0,8	15,5	25,0	0,68	0,0	0,1
4	900,0	0,8	15,5	25,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,8	15,5	25,0	0,68	0,0	0,1
6	550,0	0,8	15,5	25,0	0,68	0,0	0,1
7	400,0	0,8	15,5	25,0	0,68	0,0	0,1
8	400,0	0,8	15,5	25,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	200						
СВ	3500						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	50,0	0,3	18,0	25,0	0,68	0,0	0,1
2	50,0	0,3	18,0	25,0	0,68	0,0	0,1
3	50,0	0,3	18,0	25,0	0,68	0,0	0,1
4	50,0	0,3	18,0	25,0	0,68	0,0	0,1
5	50,0	0,3	18,0	25,0	0,68	0,0	0,1
6	50,0	0,3	18,0	25,0	0,68	0,0	0,1
7	50,0	0,3	18,0	25,0	0,68	0,0	0,1
8	50,0	0,3	18,0	25,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	200						
СВ	7000						
QB	0.01						

Sub-bacia 9

Sub-bacia 8

0
Ē
ā
·
ğ
ö
T
-9
5
S

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	300,0	0,8	15,0	30,0	0,68	0,0	0,1
2	500,0	0,9	15,0	30,0	0,68	0,0	0,1
3	200,0	0,8	15,0	30,0	0,68	0,0	0,1
4	500,0	0,9	15,0	30,0	0,68	0,0	0,1
5	50,0	0,8	15,0	30,0	0,68	0,0	0,1
6	300,0	0,9	15,0	30,0	0,68	0,0	0,1
7	50,0	0,8	15,0	30,0	0,68	0,0	0,1
8	50,0	0,9	15,0	30,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	18						
CI	150						
СВ	5000						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	800,0	1,4	10,0	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	1,4	10,0	25,0	0,68	0,0	0,1
3	700,0	1,4	10,0	25,0	0,68	0,0	0,1
4	900,0	1,4	10,0	25,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	1,4	10,0	20,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	1,4	10,0	20,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	1,4	10,0	25,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	1,4	10,0	20,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	18						
CI	200						
СВ	3000						
QB	0,01						

Sub-bacia 12

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	САР	Wc
1	800,0	0,85	9,8	55,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,85	9,8	55,0	0,68	0,0	0,1
3	700,0	0,85	9,8	55,0	0,68	0,0	0,1
4	900,0	0,85	9,8	55,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,85	9,8	50,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	0,85	9,8	50,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	0,85	9,8	55,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,85	9,8	50,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	150						
СВ	3000						
QB	0,01						

က
~
υ
a
2
T

URH

Wm

b

0	
S	

1	800,0	0,5	8,0	65,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,5	8,0	65,0	0,68	0,0	0,1
3	700,0	0,5	8,0	65,0	0,68	0,0	0,1
4	900,0	0,5	8,0	65,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,5	8,0	60,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	0,5	8,0	60,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	0,5	8,0	65,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,5	8,0	60,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	250						
СВ	5500						
QB	0,01						
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	800.0	0 12	1 0	15.0	0.69	0 0	0 1

Kbas

Kint

XL

CAP

Wc

	1	800,0	0,12	1,0	15,0	0,68	0,0	0,1
	2	1000,0	0,12	1,0	15,0	0,68	0,0	0,1
-bacia 14	3	700,0	0,12	1,0	15,0	0,68	0,0	0,1
	4	900,0	0,12	1,0	15,0	0,68	0,0	0,1
	5	500,0	0,12	1,0	10,0	0,68	0,0	0,1
	6	600,0	0,12	1,0	10,0	0,68	0,0	0,1
	7	500,0	0,12	1,0	15,0	0,68	0,0	0,1
guố	8	300,0	0,12	1,0	10,0	0,68	0,0	0,1
0	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	250						
	СВ	5500						
	QB	0.01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
	1	100,0	0,65	25,8	55,0	0,68	0,0	0,1	
ю	2	200,0	0,65	25,8	55,0	0,68	0,0	0,1	
	3	50,0	0,65	25,8	55,0	0,68	0,0	0,1	
	4	200,0	0,65	25,8	55,0	0,68	0,0	0,1	
с Т	5	100,0	0,65	25,8	50,0	0,68	0,0	0,1	
Sub-bacia	6	50,0	0,65	25,8	50,0	0,68	0,0	0,1	
	7	50,0	0,65	25,8	55,0	0,68	0,0	0,1	
	8	50,0	0,65	25,8	50,0	0,68	0,0	0,1	
	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	CS	20							
	CI	250							
	СВ	6500							
	QB	0,01							

Su b- ba	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	

1	700,0	1,5	15,0	45,0	0,68	0,0	0,1
2	800,0	1,5	15,0	35,0	0,68	0,0	0,1
3	700,0	1,5	15,0	45,0	0,68	0,0	0,1
4	1000,0	1,5	15,0	35,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	1,5	15,0	45,0	0,68	0,0	0,1
6	700,0	1,5	15,0	35,0	0,68	0,0	0,1
7	400,0	1,5	15,0	45,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	1,5	15,0	35,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	5 15						
CI	50						
CE	3 2000						
QE	B 0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Sub-bacia 17	1	300,0	0,32	8,0	75,0	0,68	0,0	0,1
	2	700,0	0,3	8,0	75,0	0,68	0,0	0,1
	3	200,0	0,32	8,0	75,0	0,68	0,0	0,1
	4	600,0	0,3	8,0	75,0	0,68	0,0	0,1
	5	100,0	0,32	8,0	75,0	0,68	0,0	0,1
	6	500,0	0,3	8,0	75,0	0,68	0,0	0,1
	7	100,0	0,32	8,0	75,0	0,68	0,0	0,1
	8	100,0	0,32	8,0	75,0	0,68	0,0	0,1
	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	20						
	СВ	2000						
	QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
	1	500,0	0,3	4,5	95,0	0,68	0,0	0,1	
	2	900,0	0,3	4,5	95,0	0,68	0,0	0,1	
	3	500,0	0,3	4,5	95,0	0,68	0,0	0,1	
ω	4	700,0	0,3	4,5	95,0	0,68	0,0	0,1	
а Т	5	200,0	0,3	4,5	95,0	0,68	0,0	0,1	
-bacia	6	500,0	0,3	4,5	95,0	0,68	0,0	0,1	
	7	200,0	0,3	4,5	95,0	0,68	0,0	0,1	
gns	8	200,0	0,3	4,5	95,0	0,68	0,0	0,1	
IJ	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	CS	15							
	CI	20							
	СВ	3800							
	QB	0,01							

Sub- bacia 19	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	300,0	0,12	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
2	700,0	0,2	4,0	15,0	0,68	0,0	0,1	
----	-------	------	-----	------	------	-----	-----	
3	200,0	0,12	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1	
4	500,0	0,2	4,0	15,0	0,68	0,0	0,1	
5	100,0	0,12	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1	
6	300,0	0,2	4,0	15,0	0,68	0,0	0,1	
7	100,0	0,12	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1	
8	100,0	0,12	4,0	15,0	0,68	0,0	0,1	
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
CS	15							
CI	50							
СВ	2200							
QB	0,01							

_	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	100,0	0,4	5,5	230,0	1,68	0,0	0,1
	2	200,0	0,4	5,5	230,0	1,68	0,0	0,1
	3	100,0	0,4	5,5	230,0	1,68	0,0	0,1
	4	200,0	0,4	5,5	230,0	1,68	0,0	0,1
	5	100,0	0,4	5,5	230,0	1,68	0,0	0,1
	6	200,0	0,4	5,5	230,0	1,68	0,0	0,1
	7	50,0	0,4	5,5	230,0	1,68	0,0	0,1
	8	50,0	0,4	5,5	230,0	1,68	0,0	0,1
	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	200						
	СВ	1500						
	QB	0.01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	800,0	0,12	0,5	10,0	0,68	0,0	0,1
	2	1000,0	0,12	0,5	10,0	0,68	0,0	0,1
	3	700,0	0,12	0,5	10,0	0,68	0,0	0,1
~	4	900,0	0,12	0,5	10,0	0,68	0,0	0,1
a 2	5	500,0	0,12	0,5	10,0	0,68	0,0	0,1
aci	6	600,0	0,12	0,5	10,0	0,68	0,0	0,1
Ä	7	500,0	0,12	0,5	10,0	0,68	0,0	0,1
guð	8	300,0	0,12	0,5	10,0	0,68	0,0	0,1
0)	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	200						
	СВ	8000						
	QB	0,01						

5 I	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
sub cia	1	900,0	0,12	9,5	20,0	0,68	0,0	0,1
ba	2	1000,0	0,12	9,5	20,0	0,68	0,0	0,1

3	920,0	0,12	9,5	20,0	0,68	0,0	0,1
4	900,0	0,12	9,5	20,0	0,68	0,0	0,1
5	950,0	0,12	9,5	20,0	0,68	0,0	0,1
6	950,0	0,12	9,5	20,0	0,68	0,0	0,1
7	950,0	0,12	9,5	20,0	0,68	0,0	0,1
8	950,0	0,12	9,5	20,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	100						
СВ	8000						
QB	0,01						

UR	H Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	700,0	0,5	4,8	26,0	0,68	0,0	0,1
2	900,0	0,45	4,0	20,0	0,68	0,0	0,1
3	600,0	0,5	4,8	23,0	0,68	0,0	0,1
4	900,0	0,45	4,0	20,0	0,68	0,0	0,1
5	700,0	0,5	4,8	26,0	0,68	0,0	0,1
6	900,0	0,45	4,0	20,0	0,68	0,0	0,1
7	600,0	0,5	4,0	23,0	0,68	0,0	0,1
8	500,0	0,4	4,0	20,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	3 0						
С	500						
CE	3 5000						
QE	B 0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	700,0	0,3	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
	2	1000,0	0,25	3,0	7,0	0,68	0,0	0,1
	3	600,0	0,3	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
4	4	900,0	0,25	3,0	7,0	0,68	0,0	0,1
a 2	5	600,0	0,3	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
acia	6	1000,0	0,25	3,0	7,0	0,68	0,0	0,1
ġ	7	700,0	0,3	3,0	4,0	0,68	0,0	0,1
Sub	8	600,0	0,3	3,0	4,0	0,68	0,0	0,1
0)	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	30						
	CI	500						
	СВ	5000						
	QB	0,01						

<u>cia</u>	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
5 5	1	800,0	0,25	3,8	7,0	0,68	0,0	0,1
- 4	2	1000,0	0,12	2,0	9,0	0,68	0,0	0,1
ິ	3	720,0	0,25	3,8	7,0	0,68	0,0	0,1

4	950,0	0,12	2,0	9,0	0,68	0,0	0,1
5	600,0	0,25	3,8	7,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	0,12	2,0	9,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	0,25	3,0	7,0	0,68	0,0	0,1
8	450,0	0,15	2,0	7,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	200						
СВ	1200						
QB	0,01						

ശ
Ñ
a
. <u>.</u>
ð

Sub-b

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	800,0	0,12	2,8	25,0	0,68	0,0	0,1
2	800,0	0,12	2,0	15,0	0,68	0,0	0,1
3	500,0	0,12	2,8	25,0	0,68	0,0	0,1
4	700,0	0,12	2,0	15,0	0,68	0,0	0,1
5	600,0	0,12	2,8	25,0	0,68	0,0	0,1
6	400,0	0,12	2,0	15,0	0,68	0,0	0,1
7	400,0	0,12	2,0	25,0	0,68	0,0	0,1
8	200,0	0,12	2,0	15,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						
СВ	500						
QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	400,0	0,2	15,5	40,0	0,68	0,0	0,1
	2	600,0	0,3	15,5	40,0	0,68	0,0	0,1
	3	400,0	0,2	15,5	40,0	0,68	0,0	0,1
~	4	600,0	0,3	15,5	40,0	0,68	0,0	0,1
a 7	5	300,0	0,2	15,5	40,0	0,68	0,0	0,1
-baci	6	500,0	0,3	15,5	40,0	0,68	0,0	0,1
	7	500,0	0,2	15,5	40,0	0,68	0,0	0,1
Sub	8	300,0	0,3	15,5	40,0	0,68	0,0	0,1
Ю	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	200						
	СВ	1200						
	QB	0,01						

ia.	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
8	1	600,0	0,2	5,5	90,0	1,68	0,0	0,1
-9-	2	900,0	0,4	5,5	90,0	1,68	0,0	0,1
ร	3	600,0	0,2	5,5	90,0	1,68	0,0	0,1

4	900,0	0,4	5,5	90,0	1,68	0,0	0,1
5	600,0	0,2	5,5	90,0	1,68	0,0	0,1
6	900,0	0,4	5,5	90,0	1,68	0,0	0,1
7	600,0	0,2	5,5	90,0	1,68	0,0	0,1
8	400,0	0,12	5,5	90,0	1,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	200						
СВ	2000						
QB	0,01						

_
ရွ
(N
<u>.</u>
C
ğ
<u> </u>
÷

ف	
Ň	
0)	

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	100,0	0,18	8,5	40,0	0,68	0,0	0,1
2	400,0	0,18	8,5	40,0	0,68	0,0	0,1
3	50,0	0,18	8,5	40,0	0,68	0,0	0,1
4	300,0	0,18	8,5	40,0	0,68	0,0	0,1
5	50,0	0,18	8,5	40,0	0,68	0,0	0,1
6	200,0	0,18	8,5	40,0	0,68	0,0	0,1
7	200,0	0,18	8,5	40,0	0,68	0,0	0,1
8	50,0	0,18	8,5	40,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	200						
СВ	2500						
QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	800,0	0,32	17,5	150,0	1,98	0,0	0,1
	2	1000,0	0,52	17,5	150,0	1,98	0,0	0,1
	3	700,0	0,52	17,5	150,0	1,98	0,0	0,1
0	4	1000,0	0,32	17,5	150,0	1,98	0,0	0,1
a S	5	700,0	0,32	17,5	150,0	1,98	0,0	0,1
aci	6	550,0	0,32	17,5	150,0	1,98	0,0	0,1
ġ	7	450,0	0,32	17,5	150,0	1,98	0,0	0,1
Sub	8	250,0	0,32	17,5	150,0	1,98	0,0	0,1
0)	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	200						
	СВ	2200						
	QB	0,01						

<u>ia</u>	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
bac 1	1	150,0	0,15	8,0	40,0	0,68	0,0	0,1
-q	2	450,0	0,15	8,0	40,0	0,68	0,0	0,1
ິ	3	150,0	0,15	8,0	40,0	0,68	0,0	0,1

5 150.0 0.15 8.0 40.0 0.68 0.0	0,1 0.1
	0.1
6 250,0 0,15 8,0 40,0 0,68 0,0	υ, ι
7 250,0 0,15 8,0 40,0 0,68 0,0	0,1
8 150,0 0,15 8,0 40,0 0,68 0,0	0,1
9 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0	0,0
CS 15	
CI 150	
CB 2000	
QB 0,01	

N
<u>.</u>
ပ္ခ
- ee
¥

Sub-k

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	200,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
2	400,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
3	100,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
4	300,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
5	100,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
6	100,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
7	100,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	200						
СВ	3500						
QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	400,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
	2	600,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
	3	300,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
e	4	500,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
a 3	5	200,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
aci	6	300,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
å	7	200,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
Sub	8	200,0	0,15	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
0)	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	200						
	СВ	3500						
	QB	0,01						

<u>ia</u>	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
4 4	1	500,0	0,02	0,5	4,0	0,67	0,0	0,1
-q 9	2	1700,0	0,02	2,0	4,0	0,67	0,0	0,1
ึงเ	3	500,0	0,02	0,5	4,0	0,67	0,0	0,1

4	1600,0	0,02	1,0	4,0	0,67	0,0	0,1
5	500,0	0,02	0,5	4,0	0,67	0,0	0,1
6	1500,0	0,02	0,5	4,0	0,67	0,0	0,1
7	500,0	0,02	0,5	4,0	0,67	0,0	0,1
8	600,0	0,02	0,5	4,0	0,67	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	100						
СВ	3900						
QB	0,01						

S
က
g
-77
Ř
ŏ

0
=
<u>ح</u>
0)

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	600,0	0,25	4,35	25,0	0,68	0,0	0,1
2	900,0	0,25	4,35	15,0	0,68	0,0	0,1
3	500,0	0,25	4,35	25,0	0,68	0,0	0,1
4	800,0	0,25	4,35	15,0	0,68	0,0	0,1
5	300,0	0,25	4,35	25,0	0,68	0,0	0,1
6	500,0	0,25	4,35	15,0	0,68	0,0	0,1
7	300,0	0,25	4,35	25,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	0,25	4,35	15,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						
СВ	3100						
QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	600,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
	2	1000,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
	3	500,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
9	4	800,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
a S	5	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
aci	6	600,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
ğ	7	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
Sub	8	100,0	0,2	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
0)	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	50						
	СВ	5000						
	QB	0,01						

~	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
ю в	1	400,0	0,13	2,0	10,0	0,68	0,0	0,1
aci	2	500,0	0,13	3,2	20,0	0,68	0,0	0,1
ĝ	3	300,0	0,13	2,0	10,0	0,68	0,0	0,1
gng	4	500,0	0,13	3,2	20,0	0,68	0,0	0,1
0)	5	100,0	0,13	2,0	10,0	0,68	0,0	0,1

6	300,0	0,13	3,0	20,0	0,68	0,0	0,1
7	100,0	0,13	2,0	10,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	0,13	2,0	10,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	100						
СВ	2000						
QB	0,01						

_	
S	

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	400,0	0,2	9,0	30,0	0,68	0,0	0,1
2	500,0	0,2	9,2	40,0	0,68	0,0	0,1
3	300,0	0,2	9,0	30,0	0,68	0,0	0,1
4	500,0	0,2	9,2	40,0	0,68	0,0	0,1
5	100,0	0,2	9,0	30,0	0,68	0,0	0,1
6	300,0	0,2	9,0	40,0	0,68	0,0	0,1
7	100,0	0,2	9,0	30,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	0,2	9,0	30,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	100						
СВ	3800						
QB	0,01						

URH Wm Kbas Kint XL CAP b Wc 1 0,2 3,0 600,0 25,0 0,68 0,0 0,1 2 3 1000,0 0,3 0,68 3,0 15,0 0,0 0,1 500,0 0,2 3,0 25,0 0,0 0,1 0,68 4 800,0 0,3 3,0 15,0 0,0 0,1 0,68 Sub-bacia 39 5 300,0 0,2 3,0 25,0 0,68 0,0 0,1 6 600,0 0,3 15,0 0,68 3,0 0,0 0,1 7 300,0 0,2 3,0 25,0 0,68 0,0 0,1 8 100,0 0,2 0,0 15,0 0,0 0,0 0,0 9 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 CS 15 CI 50 СВ 5000 QB 0,01

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
40	1	600,0	0,1	3,0	20,0	0,68	0,0	0,1
cia	2	700,0	0,1	4,2	30,0	0,68	0,0	0,1
bac	3	500,0	0,1	3,0	20,0	0,68	0,0	0,1
ļ	4	700,0	0,1	4,2	30,0	0,68	0,0	0,1
ึ่ง	5	300,0	0,1	3,0	20,0	0,68	0,0	0,1
	6	500,0	0,1	4,0	30,0	0,68	0,0	0,1

7	300,0	0,1	3,0	20,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,1	3,0	20,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	100						
СВ	3800						
QB	0,01						

URH	Wm	h	Khas	Kint	XI	CAP	Wc
UNIT	••••		T(ba5				
1	600,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
3	500,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
4	800,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
5	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
7	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	0,2	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						
СВ	5000						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	600,0	0,2	5,0	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,3	5,0	15,0	0,68	0,0	0,1
3	500,0	0,2	5,0	25,0	0,68	0,0	0,1
4	800,0	0,3	5,0	15,0	0,68	0,0	0,1
5	300,0	0,2	5,0	25,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	0,3	5,0	15,0	0,68	0,0	0,1
7	300,0	0,2	5,0	25,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	0,2	5,0	15,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						
СВ	7000						
QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
e	1	400,0	0,47	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
a 4	2	500,0	0,47	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
aci	3	400,0	0,47	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
ğ	4	500,0	0,47	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
àuð	5	300,0	0,47	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
0)	6	400,0	0,47	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
	7	250,0	0,47	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1

8	150,0	0,47	3,8	4,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	100						
СВ	2500						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	200,0	0,17	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
2	400,0	0,37	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
3	200,0	0,17	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
4	400,0	0,37	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
5	200,0	0,17	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
6	400,0	0,37	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
7	150,0	0,17	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
8	50,0	0,17	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	200						
СВ	7200						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	700,0	0,37	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
2	800,0	0,37	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
3	600,0	0,37	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
4	700,0	0,37	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,37	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	0,37	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
7	450,0	0,37	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
8	350,0	0,37	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	200						
СВ	2700						
QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	750,0	0,62	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
46	2	1000,0	0,62	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
cia	3	650,0	0,62	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
bac	4	750,0	0,62	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
-q	5	650,0	0,62	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
ຽ	6	550,0	0,62	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
	7	400,0	0,62	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1
	8	400,0	0,62	5,0	40,0	0,68	0,0	0,1

9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	200						
СВ	1000						
QB	0,01						

 URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	950,0	1,97	20,0	40,0	0,68	0,0	0,1
2	850,0	1,97	20,0	40,0	0,68	0,0	0,1
3	750,0	1,97	20,0	40,0	0,68	0,0	0,1
4	650,0	1,97	20,0	40,0	0,68	0,0	0,1
5	750,0	1,97	20,0	40,0	0,68	0,0	0,1
6	650,0	1,97	20,0	40,0	0,68	0,0	0,1
7	550,0	1,97	20,0	40,0	0,68	0,0	0,1
8	250,0	1,97	20,0	40,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	200						
СВ	8000						
QB	0.01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	550,0	0,12	5,0	150,0	0,68	0,0	0,1
2	900,0	0,12	5,0	150,0	0,68	0,0	0,1
3	450,0	0,12	5,0	150,0	0,68	0,0	0,1
4	850,0	0,12	5,0	150,0	0,68	0,0	0,1
5	450,0	0,12	5,0	150,0	0,68	0,0	0,1
6	750,0	0,12	5,0	150,0	0,68	0,0	0,1
7	250,0	0,12	5,0	150,0	0,68	0,0	0,1
8	250,0	0,12	5,0	150,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	200						
СВ	1500						
QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
	1	550,0	0,8	10,0	200,0	0,68	0,0	0,1	
)	2	450,0	0,8	10,0	200,0	0,68	0,0	0,1	
-	3	350,0	0,8	10,0	200,0	0,68	0,0	0,1	
	4	250,0	0,8	10,0	200,0	0,68	0,0	0,1	
í.	5	150,0	0,8	10,0	200,0	0,68	0,0	0,1	
2	6	250,0	0,8	10,0	200,0	0,68	0,0	0,1	
,	7	150,0	0,8	10,0	200,0	0,68	0,0	0,1	
	8	150,0	0,8	10,0	200,0	0,68	0,0	0,1	
	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Sub-bacia 47

50	
Sub-bacia	
••	

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	750,0	0,9	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
2	350,0	0,9	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
3	450,0	0,9	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
4	650,0	0,9	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
5	250,0	0,9	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
6	450,0	0,9	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
7	250,0	0,9	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
8	250,0	0,9	4,0	40,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	50						
СВ	3500						
QB	0.01						

~
S
<u>ia</u>
ac
Ą
ਕ
ົ້

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	750,0	0,2	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
2	950,0	0,2	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
3	650,0	0,2	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
4	950,0	0,2	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
5	550,0	0,2	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
6	850,0	0,2	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
7	450,0	0,2	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,2	3,0	40,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	200						
СВ	500						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	750,0	0,6	5,0	54,0	0,68	0,0	0,1
2	950,0	0,6	7,0	54,0	0,68	0,0	0,1
3	650,0	0,6	5,0	54,0	0,68	0,0	0,1
4	850,0	0,6	7,0	54,0	0,68	0,0	0,1
5	650,0	0,6	5,0	54,0	0,68	0,0	0,1
6	650,0	0,6	7,0	54,0	0,68	0,0	0,1
7	450,0	0,6	5,0	54,0	0,68	0,0	0,1
8	450,0	0,6	5,0	54,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						

CI	20						
СВ	2200						
QB	0,01						
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	450,0	2,8	9,0	14,0	0,68	0,0	0,1
2	650,0	2,8	9,0	34,0	0,68	0,0	0,1
3	350,0	2,8	9,0	14,0	0,68	0,0	0,1
4	550,0	2,8	9,0	34,0	0,68	0,0	0,1
5	250,0	2,8	9,0	14,0	0,68	0,0	0,1
6	250,0	2,8	9,0	34,0	0,68	0,0	0,1
7	550,0	2,8	9,0	14,0	0,68	0,0	0,1
8	150,0	2,8	9,0	14,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	200						
СВ	1000						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	1200,0	0,12	4,0	24,0	0,68	0,0	0,1
2	1350,0	0,32	4,0	24,0	0,68	0,0	0,1
3	1200,0	0,12	4,0	24,0	0,68	0,0	0,1
4	1250,0	0,32	4,0	24,0	0,68	0,0	0,1
5	1200,0	0,12	4,0	24,0	0,68	0,0	0,1
6	1100,0	0,32	4,0	24,0	0,68	0,0	0,1
7	1000,0	0,12	4,0	24,0	0,68	0,0	0,1
8	1000,0	0,12	4,0	24,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	20						
CI	120						
СВ	7000						
QB	0,01						

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	800,0	0,6	4,7	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,6	4,7	15,0	0,68	0,0	0,1
3	700,0	0,6	4,7	25,0	0,68	0,0	0,1
4	1000,0	0,6	4,7	15,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,6	4,7	25,0	0,68	0,0	0,1
6	800,0	0,6	4,7	15,0	0,68	0,0	0,1
7	400,0	0,6	4,7	25,0	0,68	0,0	0,1
8	200,0	0,6	4,7	15,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						

CI	50						
СВ	3000						
QB	0,01						
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	800,0	0,7	5,7	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,7	5,7	15,0	0,68	0,0	0,1
3	700,0	0,7	5,7	25,0	0,68	0,0	0,1
4	1000,0	0,7	5,7	15,0	0,68	0,0	0,1
5	500,0	0,7	5,7	25,0	0,68	0,0	0,1
6	800,0	0,7	5,7	15,0	0,68	0,0	0,1
7	500,0	0,7	5,7	25,0	0,68	0,0	0,1
8	300,0	0,7	5,7	15,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						
СВ	1200						
QB	0,01						
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	600,0	1,4	4,0	35,0	0,68	0,0	0,1

5	
g	
<u>ה</u>	
g	
÷	
ġ	
S	

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	600,0	1,4	4,0	35,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	1,4	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
3	500,0	1,4	4,0	35,0	0,68	0,0	0,1
4	800,0	1,4	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
5	300,0	1,4	4,0	35,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	1,4	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
7	300,0	1,4	4,0	35,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	1,4	4,0	25,0	0,68	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						
СВ	5000						
QB	0,01						

 URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	600,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
2	1000,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
3	500,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
4	800,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
5	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
6	600,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
7	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
8	100,0	0,2	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CS	15						
CI	50						

	СВ	5000						
	QB	0,01						
	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	600,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
	2	1000,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
	3	500,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
6	4	800,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
a 5	5	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
aci	6	600,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
ğ	7	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
guð	8	100,0	0,2	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0
0)	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	50						
	СВ	5000						
	QB	0,01						

	URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
	1	600,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
	2	1000,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
	3	500,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
0	4	800,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
a 6	5	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
aci	6	600,0	0,3	3,0	15,0	0,68	0,0	0,1
ġ	7	300,0	0,2	3,0	25,0	0,68	0,0	0,1
gng	8	100,0	0,2	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0
0)	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CS	15						
	CI	50						
	СВ	5000						
	QB	0,01						

Tabela B-2: Parâmetros calibráveis da MUSLE da sub-bacia 1 a 60.

Sub-bacia	α	β	tks	Sub-bacia	α	β	tks
1	4,48	0,66	1,00	31	11,48	0,56	1,00
2	4,48	0,66	1,00	32	11,48	0,56	1,00
3	4,48	0,66	1,00	33	20,38	0,46	1,00
4	6,48	0,66	1,00	34	5,48	0,56	1,00
5	2,48	0,66	1,00	35	0,48	0,76	1,00
6	2,48	0,66	1,00	36	0,48	0,76	1,00
7	5,00	0,76	1,00	37	4,80	0,54	1,00
8	11,48	0,56	1,00	38	2,80	0,60	1,00
9	2,48	0,66	1,00	39	0,50	0,76	1,00
10	11,48	0,56	1,00	40	0,10	0,80	1,00

11	5,48	0,56	1,00	41	0,10	0,80	1,00
12	5,48	0,56	1,00	42	3,48	0,66	1,00
13	5,48	0,56	1,00	43	8,48	0,66	1,00
14	5,48	0,56	1,00	44	8,48	0,66	1,00
15	10,48	0,56	2,00	45	25,48	0,56	1,00
16	2,00	0,66	1,00	46	3,48	0,60	1,00
17	5,48	0,56	1,00	47	3,48	0,60	1,00
18	5,48	0,56	1,00	48	3,48	0,60	1,00
19	8,48	0,76	1,00	49	6,48	0,56	1,00
20	11,00	0,66	1,00	50	2,48	0,66	1,00
21	11,00	0,46	1,00	51	2,48	0,66	1,00
22	1,48	0,60	1,00	52	7,48	0,66	1,00
23	3,60	0,56	1,00	53	6,50	0,60	1,00
24	11,48	0,56	1,00	54	8,48	0,66	1,00
25	13,48	0,50	1,00	55	4,48	0,76	1,00
26	11,48	0,56	1,00	56	2,48	0,66	1,00
27	7,48	0,56	1,00	57	0,10	0,76	1,00
28	7,48	0,56	1,00	58	0,10	0,76	1,00
29	1,48	0,70	1,00	59	0,10	1,00	1,00
30	20,48	0,46	1,00	60	11,48	0,56	1,00

ANEXO C – ESTAÇÕES DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Identificação	Nome da Estação	Codigo	Latitude	Longitude
1	Capelinha	1742014	-17,6908	-42,5175
2	Malacacheta	1742017	-17,8456	-42,0756
3	Aguia Branca	1840000	-18,9856	-40,7461
4	Barra de São Francisco	1840004	-18,7536	-40,8936
5	Ponte Nova (BR-101)	1840008	-18,9817	-39,9933
6	Cedrolândia	1840010	-18,8097	-40,6906
7	Vila Matias - montante	1841001	-18,5747	-41,9178
8	Campanário	1841003	-18,2386	-41,7486
9	Vargem Grande	1841006	-18,6811	-41,1967
10	Mantenópolis	1841009	-18,9089	-41,1217
11	Tumiritinga	1841011	-18,9764	-41,6403
12	Central de Minas	1841018	-18,7631	-41,3083
13	São Pedro do Suaçuí	1842004	-18,3583	-42,5956
14	Coroaci	1842005	-18,6119	-42,2786
15	Guanhães	1842007	-18,7722	-42,9311
16	Santa Maria do Suaçuí	1842008	-18,2011	-42,4553
17	Povoação	1939002	-19,5775	-39,7944
18	Itarana	1940000	-19,8744	-40,8744
19	São João de Petrópolis	1940001	-19,8053	-40,6789
20	Riacho	1940003	-19,7497	-40,0431
21	Cavalinho	1940005	-19,6922	-40,3981
22	Colatina - corpo de bombeiro	1940006	-19,5308	-40,6231
23	Pancas	1940009	-19,2203	-40,8533
24	Valsugana Velha - montante	1940010	-19,9533	-40,5525
25	Itaimbé	1940012	-19,6636	-40,8353
26	Novo Brasil	1940013	-19,2375	-40,5914
27	Barra de São Gabriel	1940016	-19,0578	-40,5164
28	Caldeirão	1940020	-19,9550	-40,7417
29	Aracruz	1940021	-19,8300	-40,2722
30	Jacupemba	1940022	-19,5886	-40,1981
31	Rio Bananal	1940023	-19,2742	-40,3208
32	Serraria (alto do moacir)	1940025	-19,2953	-40,5175
33	Ipanema	1941000	-19,7989	-41,7061
34	Baixo Guandú	1941003	-19,5236	-41,0142
35	Resplendor - jusante	1941004	-19,3431	-41,2461
36	Barra do Cuieté - jusante	1941005	-19,0617	-41,5328
37	Assarai - montante	1941006	-19,5947	-41,4581
38	Laranja da Terra	1941008	-19,9011	-41,0581
39	Ibituba	1941009	-19,6911	-41,0200
40	São Sebastião da Encruzilhada	1941010	-19,4925	-41,1617
41	Santo Antônio do Manhuaçu	1941011	-19,6783	-41,8361
42	Alto Rio Novo	1941012	-19,0592	-41,0275
43	Bom Jesus do Galho	1942002	-19.8336	-42.3178
44	Vermelho Velho	1942006	-19,9989	-42,3475
45	Dom Cavati	1942008	-19,3736	-42,1050
46	Rio Piracicaba	1943001	-19,9228	-43,1778
47	Conceição do Mato Dentro	1943002	-19.0167	-43.4442
48	Ferros	1943003	-19,2503	-43.0144
49	Jaboticatubas	1943004	-19.5206	-43.7444
50	Sabará	1943006	-19,8931	-43.8150
	-		,	,

Tabela C-1: Estações de dados pluviométricos da ANA adotados neste trabalho.

Identificação	Nome da Estação	Código	Latitude	Longitude
51	Santa Barbara	1943007	-19,9453	-43,4011
52	Santa Maria de Itabira	1943008	-19,4419	-43,1178
53	Caeté	1943010	-19,9006	-43,6675
54	Taquaraçu	1943023	-19,6639	-43,6881
55	José de Melo	1943024	-19,6897	-43,5856
56	Morro do Pilar	1943025	-19,2175	-43,3742
57	Usina Peti	1943027	-19,8808	-43,3675
58	Vau da Lagoa	1943035	-19,2189	-43,5881
59	Santa Maria do Jetibá (DNOS)	2040007	-20,0283	-40,7433
60	Garrafão (DNOS)	2040008	-20,1433	-40,9753
61	Cachoeira Suiça (DNOS)	2040018	-20,0794	-40,6067
62	São Rafael	2040023	-20,2964	-40,9339
63	Caiana	2041005	-20.6939	-41.9219
64	Dores do Manhumirim	2041008	-20.1081	-41.7283
65	Conceição do Castelo (DNOS)	2041011	-20.3522	-41.2394
66	IUNA	2041013	-20.3458	-41.5375
67	Dores do Rio Preto	2041014	-20.6858	-41.8461
68	Ibitirama (DNOS)	2041016	-20 5406	-41 6656
69	Santa Cruz - canarão (DNOS)	2041010	-20,3400	-41 7042
70	Usina Fortaleza (DNOS)	2041017	-20,3220	-/1 /080
70		2041018	-20,5714	-41,4085
71		2041015	-20,3203	41,0114
72	Aface (DNOS)	2041020	-20,3007	-41,0011
75	Alonso Claudio - montante	2041025	-20,0780	-41,1214
74	Carangola David Searce, montante	2042000	-20,7400	-42,0239
75 76	Raui Soares - montante	2042008	-20,1030	-42,4400
70 77	Abre Campo	2042010	-20,2989	-42,4781
77	RIO Casca	2042011	-20,2261	-42,6500
78		2042014	-20,7694	-42,3011
79	Sao Miguel do Anta	2042016	-20,6825	-42,8067
80	Matipo	2042017	-20,2772	-42,3256
81	Ponte Nova - Jusante	2042018	-20,3847	-42,9028
82	Lagoa Grande (mmv)	2043002	-20,1792	-43,9428
83	Rio do Peixe (mmv)	2043004	-20,1378	-43,8925
84	Conselheiro Lafaiete	2043005	-20,6650	-43,7778
85	Acalaca - Jusante	2043009	-20,3625	-43,1439
86	Piranga	2043010	-20,6906	-43,2994
87	Fazenda Paraíso	2043011	-20,3900	-43,1803
88	Congonhas - linigrafo	2043013	-20,5219	-43,8300
89	Porto Firme	2043014	-20,6703	-43,0881
90	Carandaí	2043018	-20,9558	-43,8008
91	Usina da Brecha	2043025	-20,5167	-43,0167
92	Braz Pires	2043026	-20,8475	-43,2419
93	Fazenda Ocidente	2043027	-20,2856	-43,0989
94	Represa Das Codornas (mmv)	2043042	-20,1647	-43,8919
95	Astolfo Dutra	2142000	-21,3069	-42,8606
96	Fazenda Umbaúbas	2142004	-21,0503	-42,5156
97	Usina Ituerê	2143000	-21,3094	-43,2022
98	Guarani	2143001	-21,3556	-43,0503
99	Desterro do Melo	2143003	-21,1492	-43,5200
100	Vargem do Engenho	2143007	-21,1928	-43,6139
101	Tabuleiro	2143017	-21 3550	-43 2469

ANEXO D – VALORES DE A, B E R² OBTIDOS PELA REGRESSÃO LINEAR DA EROSIVIDADE

Tabela D-1: Coeficientes a, b e R² encontrados pela regressão linear no cálculo da Erosividade para os períodos de calibração e validação.

			ação			Validação						
Minibacia	Coef, b	Coef, a	r²	Coef, b	Coef, a	r²	Coef, b	Coef, a	r²	Coef, b	Coef, a	r²
	(out-	(out-	(out-	(abr-	(abr-	(abr-	(out-	(out-	(out-	(abr-	(abr-	(abr-
	mar)	mar)	mar)	set)	set)	set)	mar)	mar)	mar)	set)	set)	set)
1	1,49	0,65	0,98	1,51	0,56	0,99	1,47	0,72	0,98	1,52	0,51	0,99
2	1,48	0,88	0,98	1,50	0,76	0,97	1,50	0,74	0,99	1,55	0,57	0,99
3	1,48	0,78	0,98	1,50	0,64	0,98	1,51	0,64	0,99	1,51	0,59	0,99
4	1,44	1,03	0,97	1,47	0,80	0,97	1,47	0,95	0,98	1,51	0,74	0,98
5	1,48	0,80	0,98	1,50	0,65	0,98	1,49	0,74	0,98	1,53	0,58	0,99
6	1,48	0,71	0,98	1,52	0,55	0,99	1,45	0,86	0,98	1,54	0,53	0,98
7	1,48	0,95	0,98	1,53	0,72	0,98	1,49	0,89	0,99	1,56	0,66	0,98
8	1,46	0,97	0,97	1,53	0,65	0,97	1,49	0,88	0,99	1,54	0,69	0,98
9	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
10	1,46	0,95	0,98	1,46	0,83	0,97	1,47	0,94	0,98	1,51	0,72	0,98
11	1,48	0,78	0,98	1,53	0,60	0,99	1,47	0,83	0,98	1,52	0,61	0,99
12	1,47	0,95	0,98	1,51	0,72	0,98	1,47	0,83	0,98	1,56	0,53	0,98
13	1,46	1,13	0,98	1,50	0,86	0,97	1,50	0,85	0,99	1,50	0,83	0,99
14	1,45	0,94	0,98	1,54	0,60	0,98	1,48	0,83	0,98	1,53	0,62	0,98
15	1,47	0,90	0,98	1,53	0,66	0,98	1,48	0,82	0,98	1,55	0,59	0,99
16	1,48	0,71	0,98	1,52	0,56	0,99	1,46	0,80	0,98	1,54	0,52	0,98
17	1,47	1,00	0,98	1,57	0,65	0,98	1,50	0,88	0,99	1,54	0,71	0,99
18	1,48	0,85	0,98	1,50	0,71	0,98	1,50	0,71	0,99	1,54	0,58	0,99
19	1,47	0,97	0,98	1,52	0,74	0,97	1,47	0,90	0,97	1,53	0,63	0,97
20	1,47	0,84	0,98	1,51	0,63	0,98	1,49	0,75	0,99	1,54	0,58	0,99
21	1,49	0,79	0,98	1,52	0,65	0,99	1,49	0,82	0,99	1,54	0,64	0,99
22	1,48	1,02	0,98	1,53	0,79	0,97	1,41	1,38	0,96	1,49	0,87	0,96
23	1,47	0,99	0,97	1,51	0,77	0,96	1,46	0,89	0,98	1,53	0,61	0,98
24	1,47	0,93	0,98	1,51	0,72	0,97	1,44	1,05	0,97	1,52	0,66	0,98
25	1,46	0,97	0,97	1,51	0,70	0,97	1,48	0,93	0,98	1,52	0,71	0,98
26	1,47	0,92	0,98	1,51	0,72	0,98	1,46	0,93	0,98	1,50	0,73	0,98
27	1,47	1,13	0,98	1,53	0,84	0,97	1,50	0,95	0,98	1,52	0,82	0,98
28	1,50	0,79	0,99	1,52	0,69	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,59	0,96
29	1,47	1,08	0,98	1,50	0,91	0,96	1,47	1,06	0,98	1,55	0,75	0,98
30	1.47	0.95	0.98	1.54	0.69	0.97	1.48	0.96	0.98	1.53	0.72	0.98
31	1.46	1.06	0.98	1.51	0.78	0.97	1.48	0.87	0.98	1.56	0.63	0.98
32	1.46	0.90	0.98	1.51	0.65	0.98	1.46	0.89	0.97	1.52	0.62	0.98
33	1.48	0.88	0.98	1.54	0.65	0.98	1.46	0.89	0.98	1.55	0.55	0.98
34	1.48	0.95	0.98	1.46	0.91	0.97	1.49	0.81	0.98	1.57	0.57	0.98
35	1.46	0.88	0.98	1.50	0.69	0.98	1.49	0.75	0.99	1.52	0.62	0.99
36	1.48	0.75	0.99	1.52	0.61	0.98	1.50	0.67	0.99	1.52	0.57	0.99
37	1.48	0.86	0.98	1.53	0.67	0.98	1.45	0.92	0.98	1.51	0.63	0.97
38	1.49	1.05	0.98	1.55	0.78	0.97	1.49	0.95	0.99	1.53	0.78	0.99
39	1,10	0.79	0,99	1,53	0.66	0.98	1,10	0.73	0.99	1,57	0,60	0.96
40	1 47	0.91	0,97	1,50	0,69	0.98	1 48	0.88	0.98	1,51	0,00	0.98
41	1 47	0.93	0.98	1.53	0.65	0.98	1 49	0.82	0,00	1 54	0.63	0.99
42	1 43	1.03	0.97	1 49	0 71	0.97	1,10	0 72	0.99	1.55	0.55	0.99
43	1,50	0.68	0.98	1.54	0.55	0.99	1 47	0 77	0.98	1,50	0,60	0.98
44	1 48	0.81	0,00	1.53	0.62	0.98	1 49	0.75	0 99	1.54	0.57	0,00
45	1 47	0.88	0.98	1 53	0.67	0,00	1.51	0 70	0,00	1 54	0.59	0,00
46	1.46	0.97	0.98	1.49	0.76	0.97	1.48	0.92	0.98	1,51	0.73	0.97
	.,	0,01	0,00	.,	5,10	0,01	.,	0,02	0,00	.,0.	0,10	5,51

218

47	1,47	0,84	0,98	1,52	0,63	0,98	1,45	0,99	0,97	1,49	0,75	0,98
48	1,47	0,95	0,98	1,55	0,67	0,98	1,47	0,92	0,98	1,54	0,65	0,98
49	1,46	0,90	0,97	1,51	0,67	0,98	1,49	0,83	0,99	1,54	0,66	0,99
50	1,46	0,97	0,98	1,52	0,71	0,97	1,47	0,95	0,98	1,52	0,72	0,98
51	1,47	0,94	0,98	1,53	0.69	0,97	1,48	0,90	0,99	1,53	0,69	0,98
52	1.45	0.88	0.97	1.50	0.65	0.97	1.45	0.93	0.98	1.50	0.66	0.98
53	1.45	0.98	0.97	1.53	0.65	0.98	1.47	0.92	0.98	1.52	0.68	0.98
54	1 46	0.92	0.98	1 54	0.61	0.98	1 48	0.85	0.98	1.54	0.62	0.98
55	1,10	1 02	0,00	1 49	0.75	0,00	1,10	0,00	0,00	1,51	0.58	0,00
56	1,44	0.00	0,07	1,40	0,70	0,07	1,00	0,76	0,00	1,50	0,00	0,00
50	1,40	0,90	0,90	1,43	0,72	0,97	1,49	0,70	0,90	1,52	0,04	0,99
57	1,49	0,92	0,90	1,02	0,00	0,97	1,40	0,90	0,90	1,04	0,72	0,90
50	1,47	0,70	0,90	1,49	0,00	0,90	1,51	0,05	0,99	1,01	0,59	0,99
09	1,49	0,99	0,90	1,50	0,90	0,90	1,40	1,15	0,90	1,01	0,00	0,90
00	1,44	1,04	0,97	1,50	0,74	0,97	1,47	0,91	0,90	1,49	0,77	0,90
01	1,40	0,99	0,97	1,51	0,71	0,97	1,40	0,80	0,98	1,54	0,60	0,98
62	1,46	0,95	0,97	1,50	0,72	0,98	1,47	0,91	0,98	1,51	0,71	0,98
63	1,48	0,99	0,98	1,56	0,69	0,98	1,50	0,88	0,99	1,54	0,74	0,99
64	1,49	0,80	0,98	1,53	0,66	0,98	1,46	0,87	0,98	1,51	0,62	0,98
65	1,47	0,84	0,98	1,54	0,62	0,98	1,50	0,71	0,99	1,54	0,57	0,99
66	1,48	0,87	0,98	1,53	0,68	0,98	1,43	1,10	0,97	1,50	0,78	0,96
67	1,47	0,95	0,98	1,48	0,81	0,97	1,47	0,92	0,98	1,52	0,71	0,98
68	1,48	0,77	0,98	1,52	0,59	0,98	1,45	0,92	0,97	1,50	0,66	0,98
69	1,47	0,90	0,98	1,50	0,73	0,98	1,48	0,86	0,98	1,52	0,67	0,98
70	1,48	0,72	0,98	1,51	0,57	0,99	1,46	0,81	0,98	1,52	0,55	0,98
71	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
72	1,45	1,24	0,97	1,49	0,96	0,95	1,32	2,21	0,92	1,49	0,91	0,96
73	1,45	0,93	0,97	1,51	0,65	0,97	1,51	0,75	0,99	1,54	0,65	0,99
74	1,48	0,94	0,98	1,53	0,75	0,97	1,50	0,87	0,99	1,57	0,64	0,98
75	1,49	0,96	0,98	1,50	0,88	0,97	1,45	1,13	0,98	1,54	0,76	0,98
76	1,48	0,94	0,98	1,53	0,72	0,97	1,46	0,95	0,98	1,57	0,55	0,98
77	1,46	0,87	0,98	1,49	0,71	0,98	1,47	0,85	0,98	1,50	0,69	0,98
78	1,45	1,01	0,97	1,50	0,76	0,97	1,47	0,94	0,98	1,51	0,74	0,98
79	1,46	0,94	0,97	1,50	0,70	0,98	1,49	0,88	0,98	1,53	0,69	0,99
80	1,48	0,91	0,98	1,51	0,75	0,97	1,46	0,89	0,98	1,57	0,54	0,98
81	1,46	1,12	0,98	1,53	0,78	0,96	1,48	1,00	0,98	1,53	0,77	0,97
82	1,48	0,91	0,98	1,53	0,69	0,97	1,49	0,79	0,99	1,56	0,56	0,98
83	1,48	0,86	0,98	1,51	0,71	0,98	1,50	0,74	0,99	1,54	0,62	0,99
84	1,47	0,84	0,98	1,52	0,62	0,99	1,45	0,89	0,98	1,52	0,61	0,98
85	1,48	0,89	0,98	1,50	0,76	0,98	1,50	0,80	0,99	1,56	0,63	0,99
86	1,45	1,05	0,97	1,51	0,74	0,97	1,50	0,80	0,99	1,54	0,65	0,99
87	1,48	0,87	0,98	1,53	0,68	0,98	1,43	1,10	0,97	1,50	0,78	0,96
88	1,49	0,84	0,99	1,51	0,73	0,98	1,50	0,79	0,99	1,55	0,61	0,99
89	1,45	0,91	0,98	1,53	0,61	0,98	1,44	0,97	0,97	1,50	0,66	0,98
90	1.47	0.92	0.98	1.51	0.73	0.97	1.49	0.78	0.99	1.57	0.54	0.99
91	1.47	0.92	0.98	1.52	0.68	0.98	1.49	0.85	0.99	1.53	0.67	0.99
92	1.49	0.82	0.99	1.52	0.69	0.98	1.45	1.04	0.98	1.53	0.70	0.98
93	1.49	0.98	0.98	1.51	0.87	0.97	1.45	1.18	0.97	1.53	0.81	0.97
94	1.38	1.73	0.95	1.43	1.23	0.91	1.34	2.04	0.94	1.38	1.43	0.89
95	1 46	0.88	0,98	1.55	0.56	0.98	1 47	0.89	0.98	1.52	0.65	0.98
96	1 48	0.83	0,98	1,50	0.72	0.98	1,50	0.73	0.99	1.55	0.57	0,99
97	1 45	0,93	0.97	1 49	0.70	0.97	1 48	0.80	0,00	1 54	0.58	0,00
98	1 49	1 02	0,07	1,40	0,70	0,07	1 48	1 02	0,00	1,54	0,80	0,00
ga	1 46	0.95	0,30	1 48	0,32	0,37	1 50	0.80	0,30 N QQ	1,55	0,02	0,00
100	1 / Q	1 02	0,07	1 52	0.80	0.07	1 1 1	1 21	0,33	1,55	0.70	0,99
100	1 //	1,00	0,30	1 / 2	0,00	0,97	1,44	י בי, ה קצ	0,97	1.57	0,70	0,97
102	1 /2	1,03	0,97	1, 1 0	0,77	0,97	1,30	0,70	0,99	1 55	0,02	0,99
102	1 /6	1 1 /	0,37	1.52	0,72	0,37	1 /0	0.04	0,99	1,55	0,50	0,09
100	1,40	1,14	0,30	1,00	0,01	0,97	1,43	0,34	0,90	1,01	0,00	0,50

104	1,47	1,03	0,98	1,51	0,79	0,97	1,46	1,01	0,98	1,53	0,74	0,97
105	1.46	1.00	0.97	1.55	0.67	0.96	1.46	0.93	0.97	1.50	0.70	0.96
106	1.45	1.00	0.97	1.50	0.72	0.96	1.48	0.76	0.98	1.54	0.58	0.98
107	1 47	0.90	0.98	1 51	0 74	0.97	1,50	0.78	0.99	1 54	0.65	0.99
108	1 48	0,00	0.98	1 47	0.72	0.98	1 48	0.77	0.98	1 51	0.61	0.98
100	1 / 8	0,73	0,00	1,53	0,72	0,00	1,40	0.64	0,00	1,51	0.57	0,00
109	1,40	0,75	0,90	1,55	0,57	0,90	1,30	0,04	0,99	1,52	0,57	0,99
110	1,47	0,02	0,90	1,55	0,59	0,90	1,40	0,00	0,90	1,00	0,01	0,90
111	1,49	0,83	0,98	1,55	0,67	0,96	1,40	1,30	0,96	1,55	0,72	0,97
112	1,48	0,96	0,98	1,51	0,81	0,97	1,47	1,02	0,98	1,55	0,69	0,98
113	1,47	1,13	0,98	1,53	0,84	0,97	1,53	0,81	0,99	1,51	0,82	0,99
114	1,47	0,80	0,98	1,51	0,60	0,98	1,49	0,70	0,99	1,57	0,48	0,99
115	1,45	1,11	0,98	1,49	0,83	0,96	1,44	1,04	0,97	1,49	0,77	0,97
116	1,47	0,95	0,98	1,55	0,67	0,98	1,47	0,92	0,98	1,54	0,65	0,98
117	1,46	1,03	0,98	1,50	0,78	0,97	1,48	0,91	0,98	1,52	0,70	0,98
118	1,48	0,92	0,98	1,55	0,67	0,97	1,47	0,86	0,98	1,52	0,66	0,98
119	1,49	0,90	0,98	1,54	0,68	0,98	1,46	1,05	0,98	1,52	0,74	0,97
120	1,49	0,74	0,98	1,54	0,56	0,99	1,46	0,88	0,98	1,50	0,68	0,98
121	1,48	0,81	0,98	1,51	0,65	0,98	1,50	0,68	0,99	1,54	0,54	0,99
122	1,48	0,70	0,99	1,52	0,56	0,99	1,50	0,63	0,99	1,50	0,59	0,99
123	1,49	0,69	0,99	1,53	0,55	0,99	1,50	0,63	0,99	1,51	0,56	0,99
124	1,48	0,82	0,99	1,51	0,69	0,98	1,50	0,76	0,99	1,54	0,61	0,99
125	1,48	0,87	0,98	1,52	0,68	0,98	1,50	0,74	0,99	1,54	0,60	0,99
126	1,47	0,94	0,98	1,50	0,76	0,97	1,49	0,79	0,99	1,56	0,57	0,99
127	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
128	1.46	0.99	0.97	1.52	0.70	0.97	1.48	0.81	0.98	1.54	0.61	0.98
129	1.47	0.89	0.97	1.50	0.72	0.98	1.48	0.88	0.98	1.51	0.70	0.98
130	1.47	0.79	0.98	1.52	0.60	0.98	1.49	0.70	0.99	1.57	0.48	0.99
131	1 45	1.05	0.97	1 49	0.76	0,98	1 46	0.93	0.98	1.57	0.57	0.97
132	1 48	0.76	0.98	1,10	0.62	0.98	1,10	0.64	0,00	1,51	0.59	0.99
133	1 47	1 07	0,00	1,51	0.86	0,00	1,00	1 17	0,00	1,54	0,00	0.97
13/	1 /7	0.92	0,00	1,52	0,00	0,00	1,40	0.03	0,00	1,54	0,00	0,07
135	1.46	0,52	0,00	1,51	0,72	0,00	1,40	0,00	0,00	1,00	0.74	0,00
136	1,40	0,00	0,30	1,51	0,00	0,30	1,44	0,37	0,37	1,40	0,74	0,37
130	1,47	0,00	0,90	1,52	0,01	0,99	1,43	0,92	0,90	1,51	0,03	0,90
107	1,40	0,97	0,90	1,52	0,71	0,97	1,47	0,95	0,90	1,52	0,74	0,90
130	1,47	0,00	0,90	1,52	0,00	0,90	1,47	0,01	0,90	1,02	0,00	0,90
139	1,40	1,00	0,98	1,00	0,75	0,97	1,40	0,90	0,99	1,53	0,76	0,99
140	1,40	0,89	0,98	1,51	0,73	0,97	1,51	0,76	0,99	1,55	0,62	0,99
141	1,48	0,86	0,99	1,51	0,72	0,98	1,50	0,78	0,99	1,54	0,64	0,99
142	1,49	0,88	0,98	1,51	0,76	0,98	1,49	0,84	0,99	1,56	0,62	0,99
143	1,49	0,89	0,99	1,52	0,73	0,98	1,48	0,92	0,98	1,54	0,69	0,98
144	1,49	0,70	0,98	1,52	0,57	0,99	1,48	0,70	0,99	1,51	0,57	0,99
145	1,45	1,07	0,98	1,48	0,86	0,96	1,46	0,97	0,97	1,54	0,66	0,98
146	1,49	0,93	0,98	1,54	0,72	0,97	1,48	0,84	0,98	1,53	0,66	0,98
147	1,48	0,85	0,99	1,50	0,74	0,98	1,50	0,75	0,99	1,55	0,59	0,99
148	1,47	0,82	0,98	1,49	0,66	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,58	0,99
149	1,45	1,07	0,97	1,56	0,64	0,97	1,37	1,48	0,95	1,48	0,74	0,96
150	1,48	0,90	0,98	1,53	0,70	0,98	1,49	0,84	0,99	1,54	0,67	0,98
151	1,49	1,03	0,98	1,49	0,95	0,97	1,45	1,18	0,97	1,55	0,76	0,97
152	1,47	0,80	0,98	1,50	0,63	0,98	1,50	0,64	0,99	1,52	0,57	0,99
153	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
154	1,46	0,87	0,98	1,51	0,64	0,98	1,47	0,82	0,98	1,52	0,61	0,98
155	1,49	0,91	0,98	1,51	0,76	0,98	1,49	0,81	0,98	1,54	0,66	0,98
156	1,46	0,97	0,98	1,52	0,71	0,97	1,47	0,95	0,98	1,53	0,70	0,98
157	1,48	0,83	0,98	1,50	0,69	0,98	1,50	0,69	0,99	1,54	0,55	0,99
158	1,49	1,05	0,98	1,52	0,91	0,97	1,49	1,01	0,98	1,55	0,77	0.98
159	1,49	0.80	0,98	1,53	0.63	0.99	1,44	0.92	0.97	1.50	0.62	0.97
160	1,46	0,93	0,98	1,51	0,71	0.97	1,46	0,93	0,98	1,52	0,67	0.98
	,	- ,	- ,	,	- ,	-,	,	- ,	-,	,	-,	-,

161	1,46	0,92	0,98	1,50	0,71	0,98	1,48	0,85	0,98	1,52	0,65	0,98
162	1,48	0,70	0,98	1,52	0,55	0,99	1,45	0,82	0,98	1,53	0,52	0,99
163	1,45	0,93	0,97	1,51	0,67	0,98	1,47	0,82	0,98	1,54	0,58	0,98
164	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
165	1.48	0.99	0.98	1.56	0.70	0.98	1.50	0.87	0.99	1.52	0.76	0.99
166	1.48	0.88	0.98	1.54	0.66	0.98	1.47	0.83	0.98	1.57	0.53	0.98
167	1.49	1.06	0.98	1.51	0.90	0.97	1.49	0.99	0.98	1.54	0.78	0.98
168	1,10	0.86	0.98	1,50	0,00	0.98	1 47	0.84	0.98	1.52	0.63	0.98
160	1,17	0,00	0,00	1 48	0,70	0,00	1,17	0.83	0,00	1,52	0,50	0.98
170	1,10	0,10	0,00	1,10	0,86	0.96	1,11	1 18	0,00	1,51	0.75	0.07
170	1,40	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	1 / 8	0.00	0,07	1,50	0,70	0,07
172	1,43	0,32	0,30	1,52	0,70	0,37	1,40	0,33	0,30	1,50	0,03	0,30
172	1,47	0,00	0,90	1,00	0,07	0,90	1,51	0,72	0,99	1,54	0,00	0,99
173	1,40	0,79	0,90	1,43	0,00	0,90	1,31	0,05	0,99	1,52	0,30	0,99
174	1,40	1.09	0,90	1,52	0,71	0,97	1,47	1.01	0,90	1,52	0,73	0,90
175	1,47	1,00	0,90	1,00	0,04	0,97	1,40	1,01	0,90	1,02	0,02	0,90
170	1,49	0,98	0,96	1,51	0,00	0,96	1,40	1,11	0,98	1,51	0,66	0,96
1//	1,46	0,89	0,97	1,49	0,69	0,98	1,49	0,79	0,99	1,53	0,63	0,98
178	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
179	1,44	1,05	0,97	1,47	0,79	0,96	1,50	0,75	0,99	1,55	0,59	0,99
180	1,48	0,92	0,98	1,51	0,75	0,97	1,45	0,95	0,97	1,56	0,55	0,97
181	1,47	1,14	0,98	1,53	0,88	0,96	1,49	1,02	0,98	1,56	0,75	0,98
182	1,45	0,91	0,98	1,51	0,65	0,97	1,48	0,78	0,98	1,54	0,55	0,99
183	1,47	0,99	0,98	1,58	0,61	0,98	1,50	0,89	0,99	1,54	0,72	0,99
184	1,50	0,79	0,99	1,52	0,68	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,59	0,96
185	1,46	0,85	0,98	1,51	0,62	0,98	1,47	0,86	0,98	1,50	0,67	0,98
186	1,44	1,02	0,97	1,50	0,72	0,97	1,51	0,75	0,99	1,56	0,59	0,99
187	1,50	0,74	0,98	1,52	0,63	0,98	1,49	0,74	0,99	1,54	0,57	0,98
188	1,46	1,06	0,98	1,51	0,77	0,97	1,48	0,86	0,98	1,53	0,68	0,98
189	1,46	0,97	0,98	1,52	0,71	0,97	1,47	0,94	0,98	1,53	0,70	0,98
190	1,48	1,05	0,98	1,53	0,81	0,97	1,47	1,05	0,98	1,54	0,76	0,98
191	1,49	1,03	0,98	1,54	0,81	0,97	1,49	0,95	0,99	1,53	0,78	0,98
192	1,47	0,94	0,98	1,53	0,71	0,97	1,47	0,86	0,98	1,54	0,60	0,98
193	1,49	0,77	0,98	1,51	0,66	0,98	1,49	0,76	0,98	1,55	0,56	0,98
194	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
195	1,48	0,95	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99
196	1,45	0,96	0,97	1,51	0,70	0,97	1,50	0,83	0,99	1,54	0,67	0,98
197	1,48	0,88	0,98	1,51	0,71	0,98	1,47	0,91	0,98	1,53	0,69	0,98
198	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
199	1,48	0,86	0,98	1,51	0,71	0,98	1,51	0,73	0,99	1,54	0,62	0,99
200	1,48	0,98	0,98	1,53	0,75	0,98	1,40	1,44	0,96	1,46	0,96	0,95
201	1,46	0,92	0,98	1,50	0,70	0,97	1,48	0,85	0,98	1,52	0,66	0,98
202	1,45	0,90	0,98	1,53	0,61	0,98	1,47	0,80	0,98	1,54	0,55	0,99
203	1,47	0,91	0,98	1,53	0,67	0,98	1,49	0,83	0,99	1,54	0,64	0,99
204	1.47	0.94	0.98	1.51	0.74	0.98	1.47	0.85	0.98	1.56	0.55	0.98
205	1.45	1.12	0.98	1.53	0.75	0.97	1.46	1.02	0.98	1.53	0.72	0.97
206	1 46	0.99	0.97	1 51	0 71	0.97	1 48	0.81	0.98	1.54	0.61	0.98
207	1,10	1 01	0.98	1.53	0.77	0.98	1,10	0.86	0.99	1,52	0.74	0,99
208	1,10	0.89	0.98	1 49	0.71	0.97	1 48	0.79	0.98	1.51	0.64	0.98
209	1,10	0.79	0.98	1,10	0.61	0.98	1 48	0.75	0.98	1.53	0.58	0.98
210	1,17	0,70	0,00	1,52	0.59	0,00	1,10	0.82	0,00	1,50	0,53	0,00
211	1 45	0.97	0.97	1.52	0.65	0 98	1 45	0.96	0 97	1.52	0.64	0 98
212	1 40	0.84	0,07 0 QR	1 50	0.75	0,00 0 QR	1 48	0.86	0,07 0 QR	1 55	0.63	0,00 0 QR
212	1 /0	1 01	0,00	1 54	0.77	0,30	1 /0	0,00	0,00	1 52	0.71	0,00
210	1, 4 9 1/10	0.05	0,50	1,54	0.77	0,97	1,49	0,09	0,99	1,55	0.73	0,90
214	1,40 1 /6	0,90	0,90	1,52	0,77	0,90	1,00	0,00	0,99	1,04	0,73	0,99
21J 216	1 /5	0,00	0,90	1,51	0,07	0,90	1,47	0,00	0,97	1,50	0,70	0,90
∠10 217	1,40	1.60	0,97	1.02	0,07	0,90	1,49	0,00	0,90	1,00	0,00	0,90
<u> </u>	1,37	1,03	0,94	1,43	1,14	0,93	1,40	0,04	0,90	1,51	0, 1	0,90

218	1.47	1.02	0.98	1.53	0.77	0.97	1.45	1.10	0.98	1.55	0.72	0.98
219	1 45	1 01	0.97	1 48	0 79	0.97	1 48	0,90	0.98	1 51	0.73	0.98
220	1,10	0.94	0.08	1 54	0.72	0.97	1 / 8	0,00	0.08	1 53	0.68	0,00
220	1,40	0,04	0,00	1,54	0,72	0,07	1 /7	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00
221	1,40	0,95	0,97	1,55	0,05	0,90	1,47	0,94	0,90	1,00	0,05	0,90
222	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
223	1,45	1,02	0,98	1,51	0,71	0,97	1,45	0,96	0,98	1,51	0,70	0,98
224	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
225	1,48	0,85	0,98	1,54	0,62	0,98	1,48	0,86	0,98	1,54	0,64	0,98
226	1,45	1,10	0,98	1,53	0,75	0,96	1,48	0,86	0,98	1,52	0,70	0,98
227	1,45	0,99	0,97	1,50	0,72	0,97	1,51	0,74	0,99	1,55	0,61	0,99
228	1,48	0,99	0,98	1,52	0,83	0,96	1,45	1,15	0,97	1,55	0,74	0,97
229	1,46	1,09	0,98	1,54	0,75	0,97	1,47	0,96	0,98	1,53	0,71	0,98
230	1.43	1.14	0.97	1.52	0.72	0.97	1.50	0.79	0.99	1.54	0.63	0.99
231	1 48	1 09	0.98	1 51	0.91	0.97	1 49	1.03	0.99	1.53	0.83	0.98
232	1,10	1,00	0,00	1,01	0.74	0.07	1,10	0.88	0,00	1,00	0,00	0,00
202	1,40	1,00	0,97	1,51	0,74	0,97	1,43	0,00	0,99	1,04	0,09	0,30
200	1,40	1,02	0,90	1,04	0,00	0,97	1,40	0,00	0,90	1,00	0,00	0,90
234	1,45	1,01	0,98	1,49	0,76	0,97	1,47	0,91	0,98	1,51	0,71	0,97
235	1,48	0,90	0,98	1,49	0,79	0,97	1,50	0,80	0,99	1,56	0,62	0,99
236	1,48	1,08	0,98	1,52	0,86	0,96	1,50	0,90	0,99	1,52	0,79	0,98
237	1,48	0,78	0,98	1,52	0,62	0,99	1,45	0,90	0,98	1,52	0,61	0,98
238	1,48	0,88	0,98	1,53	0,66	0,98	1,44	0,97	0,97	1,54	0,57	0,97
239	1,47	0,91	0,98	1,53	0,69	0,98	1,49	0,86	0,99	1,52	0,74	0,99
240	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
241	1,48	0.83	0,98	1,51	0,65	0,99	1,46	0,89	0,97	1,50	0,70	0,99
242	1.50	0.78	0.99	1.52	0.68	0.98	1.51	0.74	0.99	1.57	0.59	0.96
243	1 49	0.85	0,99	1.50	0 74	0,98	1 49	0.79	0,99	1.56	0.57	0,99
244	1 48	0.87	0.98	1,00	0.76	0.97	1 47	0.92	0.98	1 51	0.75	0.98
245	1 / 8	0,07	0,00	1,50	0,70	0,07	1 / 8	0,32	0,00	1,51	0,70	0,00
240	1,40	0,77	0,90	1,55	0,39	0,90	1,40	0,77	0,90	1,55	0,59	0,90
240	1,50	0,79	0,99	1,52	0,70	0,96	1,51	0,74	0,99	1,57	0,59	0,96
247	1,45	1,00	0,97	1,53	0,66	0,97	1,42	1,15	0,96	1,47	0,80	0,97
248	1,47	0,87	0,98	1,52	0,68	0,98	1,51	0,70	0,99	1,53	0,62	0,99
249	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
250	1,50	0,78	0,99	1,53	0,66	0,98	1,51	0,73	0,99	1,57	0,60	0,96
251	1,50	0,84	0,99	1,54	0,68	0,98	1,46	0,95	0,98	1,54	0,65	0,98
252	1,48	0,99	0,98	1,53	0,77	0,97	1,45	1,15	0,97	1,55	0,73	0,98
253	1,47	0,93	0,98	1,52	0,70	0,97	1,49	0,88	0,99	1,52	0,74	0,98
254	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
255	1.48	0.93	0.98	1.52	0.76	0.97	1.47	0.99	0.98	1.55	0.68	0.98
256	1 47	0 78	0,98	1.53	0.58	0.98	1 47	0.82	0.98	1.51	0.64	0.98
257	1 / 8	1.05	0,00	1 / 0	0,00	0.96	1 /7	1 10	0.08	1 57	0.70	0.08
258	1 / 8	0.60	0,00	1,40	0,57	0,00	1 /7	0.70	0,00	1,57	0,70	0,00
250	1,40	0,03	0,90	1,51	0,57	0,90	1,47	0,70	0,90	1,52	0,52	0,90
209	1,40	0,91	0,90	1,51	0,04	0,90	1,44	0,99	0,97	1,01	0,00	0,97
260	1,48	0,94	0,98	1,54	0,68	0,98	1,47	0,94	0,98	1,55	0,65	0,98
261	1,45	0,90	0,97	1,53	0,60	0,98	1,47	0,84	0,98	1,53	0,58	0,99
262	1,47	1,01	0,98	1,51	0,81	0,96	1,48	0,90	0,98	1,53	0,70	0,98
263	1,48	0,90	0,98	1,49	0,81	0,98	1,49	0,82	0,99	1,56	0,59	0,99
264	1,48	0,73	0,98	1,51	0,59	0,98	1,49	0,66	0,99	1,52	0,55	0,99
265	1,48	0,75	0,98	1,52	0,59	0,98	1,50	0,64	0,99	1,51	0,59	0,99
266	1,46	0,82	0,98	1,51	0,63	0,97	1,49	0,73	0,99	1,56	0,52	0,99
267	1,45	0,89	0,97	1,52	0,61	0,98	1,43	1,03	0,97	1,52	0,60	0,98
268	1.48	0.77	0.98	1.51	0.63	0.99	1.43	1.03	0.96	1.50	0.68	0.98
269	1.48	0.86	0.98	1.50	0.72	0.98	1.51	0.73	0.99	1.54	0.62	0.99
270	1 44	1.06	0.98	1 47	0.81	0.96	1 46	1 00	0.98	1.53	0 70	0 97
271	1.50	0.78	0,00	1.52	0.60	0.02	1 51	0.74	0,00	1 57	0.50	0.06
270	1.46	0,70	0,99	1,52	0,09	0,90	1 47	0,74	0,99	1,07	0,09	0,90
212	1,40	0,90	0,97	1,01	0,70	0,97	1,47	0,93	0,90	1,49	0,77	0,98
213	1,46	1,09	0,98	1,54	0,76	0,97	1,49	0,96	0,98	1,55	0,73	0,98
274	1,48	0,92	0,98	1,51	0,76	0,97	1,49	0,83	0,99	1,55	0,62	0,99

275	1.47	0.98	0.98	1.51	0.78	0.98	1.46	1.00	0.98	1.51	0.78	0.97
276	1 49	0.84	0.99	1 53	0,68	0.98	1 37	1.53	0.96	1 52	0.72	0.97
277	1 / 0	1 03	0,00	1 53	0.84	0.97	1 / 8	1.04	0.98	1 55	0.76	0.08
279	1,46	1,00	0,00	1,50	0,04	0,07	1 /7	0.02	0,00	1,55	0,70	0,00
270	1,40	1,01	0,90	1,52	0,74	0,90	1,47	1.07	0,90	1,00	0,05	0,90
279	1,44	1,00	0,97	1,52	0,00	0,98	1,43	1,07	0,97	1,40	0,77	0,97
280	1,48	0,96	0,98	1,50	0,83	0,97	1,47	0,93	0,97	1,55	0,60	0,97
281	1,45	1,03	0,97	1,51	0,71	0,96	1,47	0,85	0,98	1,54	0,59	0,97
282	1,47	0,95	0,98	1,51	0,75	0,98	1,45	1,04	0,98	1,56	0,63	0,98
283	1,48	1,08	0,98	1,50	0,94	0,97	1,47	1,11	0,98	1,56	0,76	0,98
284	1,43	1,00	0,97	1,53	0,57	0,97	1,34	1,61	0,91	1,48	0,69	0,95
285	1,48	0,87	0,98	1,53	0,68	0,98	1,43	1,10	0,97	1,50	0,78	0,96
286	1,47	0,90	0,98	1,50	0,74	0,98	1,46	0,94	0,98	1,51	0,71	0,98
287	1,49	0,86	0,99	1,52	0,72	0,98	1,37	1,55	0,95	1,57	0,61	0,97
288	1,49	0,99	0,98	1,54	0,76	0,97	1,49	0,84	0,99	1,53	0,70	0,99
289	1,44	1,01	0,97	1,53	0.63	0,97	1,47	0,84	0,98	1,54	0,57	0,98
290	1.48	0.94	0.98	1.51	0.77	0.98	1.47	0.97	0.97	1.52	0.75	0.97
291	1 49	1 00	0.98	1.52	0.82	0.97	1 45	1 17	0.97	1.54	0.76	0.98
202	1 48	0.98	0.98	1 53	0.78	0.97	1 45	1 1 1	0.98	1 58	0.62	0.98
202	1 / 5	1 05	0,00	1,50	0,10	0,07	1,10	0.75	0,00	1,00	0.62	0,00
200	1,40	0.72	0,37	1,52	0,03	0,37	1,00	0,73	0,33	1,54	0,02	0,33
294	1,40	0,72	0,90	1,02	0,57	0,99	1,40	0,73	0,99	1,04	0,55	0,99
290	1,40	0,97	0,90	1,49	0,77	0,97	1,47	0,92	0,90	1,01	0,72	0,90
296	1,47	0,88	0,98	1,50	0,72	0,97	1,48	0,87	0,98	1,52	0,68	0,98
297	1,45	0,98	0,97	1,50	0,72	0,97	1,51	0,75	0,99	1,54	0,63	0,99
298	1,47	1,01	0,98	1,53	0,74	0,97	1,47	0,95	0,98	1,55	0,64	0,98
299	1,45	0,96	0,98	1,50	0,73	0,97	1,44	1,05	0,97	1,46	0,83	0,97
300	1,47	0,92	0,98	1,51	0,72	0,98	1,46	0,93	0,98	1,50	0,73	0,98
301	1,45	0,90	0,97	1,49	0,65	0,97	1,45	0,86	0,97	1,47	0,69	0,97
302	1,48	0,87	0,98	1,53	0,68	0,98	1,44	0,94	0,97	1,53	0,58	0,97
303	1,47	1,01	0,98	1,50	0,83	0,96	1,48	0,90	0,99	1,52	0,73	0,98
304	1,45	0,93	0,97	1,51	0,67	0,98	1,47	0,82	0,98	1,54	0,58	0,98
305	1,48	1,01	0,98	1,53	0,79	0,97	1,49	0,86	0,99	1,54	0,68	0,99
306	1.47	0.87	0.98	1.55	0.60	0.98	1.51	0.67	0.99	1.54	0.57	0.99
307	1.47	0.94	0.97	1.51	0.76	0.98	1.48	0.87	0.98	1.55	0.61	0.98
308	1 48	1 10	0.98	1.53	0.84	0.97	1,50	0.90	0.99	1.52	0.78	0.98
309	1,10	0.84	0,00	1,00	0.74	0.98	1,00	0,00	0,00	1,52	0,70	0,00
310	1 /7	0,01	0,00	1,50	0,71	0,00	1,10	0,70	0,00	1,00	0,00	0,00
211	1,40	0,30	0,30	1,55	0,71	0,37	1,47	0,33	0,30	1,55	0,07	0,30
210	1,40	1 20	0,90	1,01	0,07	0,90	1,40	0,74	0,99	1,55	0,00	0,99
312	1,43	1,20	0,96	1,40	0,92	0,96	1,49	0,01	0,99	1,55	0,69	0,99
313	1,48	0,86	0,98	1,51	0,71	0,98	1,50	0,75	0,99	1,54	0,62	0,99
314	1,49	0,78	0,98	1,51	0,67	0,98	1,49	0,74	0,99	1,55	0,56	0,98
315	1,46	0,92	0,97	1,48	0,73	0,97	1,49	0,76	0,98	1,52	0,61	0,99
316	1,48	0,96	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99
317	1,50	0,71	0,98	1,53	0,60	0,99	1,48	0,79	0,98	1,53	0,60	0,98
318	1,48	0,82	0,99	1,51	0,68	0,98	1,50	0,72	0,99	1,53	0,60	0,99
319	1,47	0,92	0,98	1,51	0,72	0,98	1,46	0,93	0,98	1,50	0,73	0,98
320	1,48	0,69	0,98	1,51	0,57	0,98	1,47	0,70	0,98	1,52	0,52	0,98
321	1,47	0,92	0,98	1,52	0,67	0,98	1,49	0,89	0,99	1,53	0,72	0,99
322	1,49	0,75	0,98	1,51	0,62	0,98	1,47	0,81	0,98	1,52	0,61	0,97
323	1.45	1.00	0.97	1.53	0.66	0.97	1.42	1.14	0.96	1.46	0.80	0.97
324	1.48	0.76	0.98	1.52	0.61	0.99	1.44	1.00	0.97	1.48	0.72	0.98
325	1.48	0.78	0.98	1.52	0.62	0.98	1.49	0.71	0.99	1.52	0.59	0.99
326	1 / 8	1 04	0,00	1,55	0.78	0,00	1,10	0,71	0,00	1,55	0,00	0,00
327	1 /5	1.05	0,30	1,55	0,70	0.07	1,70	0.75	0,00	1 54	0,70	0,00
321 220	1,40	0.05	0,97	1.52	0,09	0,97	1,00	0,70	0,99	1,04	0,03	0,99
3∠0 220	1,40	0,00	0,98	1,52	0,07	0,98	1,40	0,92	0,97	1,51	0,01	0,97
329	1,49	0,89	0,98	1,50	0,81	0,97	1,49	0,84	0,99	1,55	0,62	0,99
330	1,48	0,78	0,98	1,49	0,68	0,98	1,51	0,64	0,99	1,53	0,56	0,99
331	1,48	1,04	0,98	1,52	0,85	0,96	1,48	0,99	0,99	1,54	0,76	0,99

332	1.49	1.06	0.98	1.48	0.98	0.96	1.42	1.39	0.97	1.52	0.85	0.96
333	1 46	0.96	0.97	1 53	0,66	0.98	1 45	0.99	0.97	1 50	0.71	0.98
224	1,40	0,30	0,37	1,55	0,00	0,30	1,40	0,33	0,37	1,50	0,71	0,30
334	1,47	0,09	0,90	1,51	0,70	0,90	1,51	0,70	0,99	1,55	0,59	0,99
335	1,43	1,26	0,97	1,49	0,88	0,96	1,49	0,86	0,99	1,54	0,68	0,99
336	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
337	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0,93	0,98	1,57	0,57	0,97
338	1,49	0,84	0,99	1,51	0,75	0,98	1,48	0,90	0,98	1,57	0,60	0,99
339	1,47	1,01	0,98	1,50	0,85	0,97	1,46	0,97	0,98	1,49	0,79	0,96
340	1.47	0.83	0.98	1.53	0.59	0.99	1.47	0.81	0.98	1.52	0.61	0.99
341	1 48	0,96	0.98	1 48	0.89	0.97	1 48	0.85	0.98	1 55	0.62	0.97
342	1 49	0.89	0.98	1 52	0.75	0.97	1 49	0.82	0 99	1 55	0.62	0.99
2/2	1,47	0,00	0,00	1,52	0,70	0,07	1 / 0	0,02	0,00	1,50	0,02	0,00
243	1,47	1.02	0,90	1,52	0,72	0,97	1,40	0,00	0,90	1,04	0,05	0,99
344	1,44	1,03	0,97	1,52	0,66	0,97	1,50	0,75	0,99	1,50	0,57	0,99
345	1,46	0,92	0,98	1,53	0,66	0,98	1,48	0,87	0,98	1,52	0,68	0,98
346	1,43	1,05	0,97	1,50	0,69	0,97	1,50	0,72	0,99	1,56	0,56	0,99
347	1,45	0,99	0,97	1,48	0,79	0,97	1,48	0,91	0,98	1,51	0,74	0,97
348	1,48	0,95	0,98	1,51	0,76	0,97	1,45	0,99	0,97	1,56	0,58	0,98
349	1,47	1,02	0,98	1,52	0,76	0,97	1,47	0,98	0,98	1,53	0,73	0,98
350	1,48	0,84	0,98	1,52	0,68	0,98	1,45	0,92	0,97	1,52	0,60	0,97
351	1.49	0.91	0.98	1.51	0.78	0.97	1.47	0.94	0.98	1.52	0.72	0.98
352	1 47	1 11	0.97	1 51	0.88	0,96	1 47	1 07	0.98	1.56	0.71	0.97
353	1 /7	0.86	0,07	1,51	0,00	0,00	1 /7	0.88	0,00	1,00	0.71	0,07
254	1,47	1.05	0,90	1,50	0,03	0,90	1,47	0,00	0,90	1,50	0,71	0,30
304	1,40	1,05	0,90	1,50	0,79	0,97	1,47	0,95	0,90	1,04	0,00	0,90
355	1,45	1,05	0,97	1,52	0,69	0,97	1,50	0,75	0,99	1,54	0,62	0,99
356	1,48	0,98	0,98	1,58	0,62	0,98	1,50	0,88	0,99	1,54	0,73	0,99
357	1,45	0,89	0,97	1,50	0,64	0,97	1,46	0,89	0,98	1,50	0,66	0,98
358	1,47	1,11	0,97	1,51	0,88	0,96	1,47	1,07	0,98	1,56	0,71	0,97
359	1,47	0,82	0,98	1,49	0,66	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,58	0,99
360	1,46	0,90	0,98	1,50	0,69	0,98	1,47	0,86	0,98	1,52	0,65	0,98
361	1.45	0.89	0.98	1.52	0.62	0.98	1.47	0.82	0.98	1.53	0.57	0.99
362	1.47	1.02	0.98	1.49	0.79	0.98	1.48	0.87	0.98	1.57	0.60	0.98
363	1 46	1.07	0.98	1 48	0.87	0.96	1 45	1 01	0.97	1 49	0.76	0.97
364	1 / 8	0.96	0,00	1 58	0.62	0.08	1,10	0.88	0,07	1,10	0.71	0,07
265	1,40	0,90	0,90	1,50	0,02	0,90	1,50	0,00	0,99	1,04	0,71	0,99
305	1,47	0,67	0,98	1,53	0,64	0,96	1,51	0,69	0,99	1,00	0,55	0,99
366	1,49	0,89	0,98	1,53	0,72	0,97	1,47	0,89	0,98	1,54	0,65	0,98
367	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
368	1,46	1,03	0,97	1,49	0,81	0,97	1,48	0,84	0,98	1,53	0,65	0,98
369	1,46	0,95	0,98	1,52	0,70	0,97	1,50	0,80	0,99	1,54	0,67	0,99
370	1,48	0,81	0,98	1,50	0,67	0,98	1,50	0,68	0,99	1,54	0,55	0,99
371	1,49	1,04	0,98	1,50	0,92	0,97	1,48	1,02	0,98	1,52	0,82	0,98
372	1,48	0.95	0,98	1,53	0,73	0,98	1,44	1,12	0,97	1,53	0,71	0,98
373	1.48	1.01	0.98	1.53	0.78	0.97	1.50	0.87	0.99	1.52	0.75	0.99
374	1 45	0,90	0.97	1 49	0.65	0.97	1 45	0.86	0.97	1 47	0.69	0.97
375	1 /7	0,00	0,07	1,40	0,00	0,07	1,40	0,00	0,07	1,47	0,00	0,07
276	1,47	0,79	0,90	1,51	0,00	0,90	1,43	0,70	0,99	1,57	0,40	0,99
370	1,47	0,93	0,98	1,53	0,00	0,96	1,40	0,89	0,98	1,52	0,00	0,96
3//	1,48	1,08	0,98	1,53	0,84	0,96	1,48	1,02	0,98	1,57	0,71	0,98
378	1,49	0,83	0,99	1,52	0,69	0,98	1,40	1,28	0,97	1,56	0,61	0,98
379	1,47	1,04	0,98	1,51	0,85	0,97	1,47	1,05	0,98	1,54	0,76	0,98
380	1,49	0,65	0,98	1,51	0,56	0,99	1,47	0,72	0,98	1,52	0,51	0,99
381	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
382	1,47	1,17	0,98	1,52	0,89	0,97	1,47	1,07	0,98	1,55	0,77	0,98
383	1.48	0.84	0.98	1.50	0.71	0.98	1.50	0.71	0.99	1.55	0.54	0.99
384	1.50	0.79	0.99	1.52	0.69	0.98	1.51	0.74	0.99	1.57	0.60	0,96
385	1 45	0 01	0.08	1 40	0 71	0,00 0 08	1 46	0.80	0.08	1 5/	0.58	0 08
386	1 / 9	0.04	0,00	1 /0	0.00	0,00	1 / 0	0,03	0,00	1 51	0,00	0,50
200	1,40	0,94	0,90	1,49	0,02	0,90	1,40	0,91	0,90	1,04	0,72	0,90
301 000	1,40	0,91	0,97	1,48	0,72	0,97	1,47	0,83	0,98	1,50	0,00	0,98
388	1,47	1,00	0,98	1,49	0,83	0,98	1,47	0,94	0,98	1,53	0,72	0,98

389	1.48	1.08	0.98	1.52	0.86	0.96	1.50	0.89	0.99	1.52	0.81	0.98
390	1 48	1 01	0.98	1.57	0,66	0.98	1 49	0,90	0.99	1.53	0 74	0.99
301	1,10	1,01	0,00	1 55	0.75	0.06	1,10	1 07	0,00	1,55	0.70	0.07
202	1,40	1,00	0,30	1,55	0,75	0,30	1,77	0.02	0,30	1,55	0,73	0,37
202	1,49	1,03	0,90	1,04	0,00	0,97	1,40	1.07	0,90	1,50	0,01	0,99
393	1,47	1,11	0,97	1,51	0,00	0,90	1,47	1,07	0,90	1,00	0,71	0,97
394	1,47	1,02	0,98	1,50	0,80	0,98	1,48	0,89	0,98	1,55	0,66	0,98
395	1,47	0,91	0,98	1,49	0,77	0,97	1,48	0,90	0,98	1,52	0,72	0,98
396	1,49	0,92	0,99	1,50	0,85	0,98	1,46	1,05	0,98	1,50	0,82	0,97
397	1,47	0,82	0,98	1,49	0,66	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,58	0,99
398	1,45	1,11	0,97	1,52	0,77	0,97	1,49	0,84	0,99	1,53	0,72	0,99
399	1,47	0,98	0,98	1,50	0,81	0,98	1,48	0,94	0,98	1,53	0,72	0,98
400	1,45	0,94	0,97	1,49	0,71	0,97	1,48	0,78	0,99	1,54	0,57	0,99
401	1,45	1,01	0,97	1,50	0,74	0,97	1,46	0,93	0,97	1,52	0,67	0,98
402	1,47	1,07	0,98	1,52	0,86	0,96	1,47	1,09	0,98	1,55	0,80	0,97
403	1.47	0.95	0.98	1.49	0.80	0.96	1.47	0.97	0.98	1.52	0.76	0.98
404	1.45	1.05	0.97	1.49	0.76	0.98	1.46	0.93	0.98	1.56	0.57	0.97
405	1 47	0,99	0.98	1.52	0.75	0,98	1 49	0.86	0,99	1.54	0.67	0.98
406	1 48	0.95	0.98	1.52	0.77	0.98	1,50	0.86	0.99	1 54	0.73	0.99
100	1,10	0.88	0,00	1,02	0.64	0,00	1,00	0,00	0,00	1,57	0,70	0,00
100	1,40	1 74	0,30	1,00	1 2/	0,30	1 / 2	1 02	0,33	1 /2	0,00	0,33
400	1,04	0.90	0,92	1,50	0.75	0,00	1,40	0.01	0,90	1,40	0,94	0,90
409	1,40	0,09	0,90	1,51	0,75	0,97	1,40	0,91	0,90	1,04	0,09	0,90
410	1,40	0,95	0,98	1,52	0,69	0,98	1,47	0,91	0,98	1,53	0,68	0,98
411	1,45	0,93	0,97	1,50	0,70	0,98	1,48	0,79	0,98	1,51	0,64	0,99
412	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
413	1,46	0,91	0,97	1,48	0,75	0,97	1,50	0,74	0,99	1,54	0,59	0,99
414	1,47	0,91	0,98	1,54	0,65	0,98	1,48	0,90	0,98	1,52	0,70	0,98
415	1,47	0,84	0,98	1,53	0,61	0,98	1,48	0,84	0,98	1,51	0,67	0,98
416	1,47	1,11	0,98	1,52	0,85	0,96	1,47	1,04	0,98	1,53	0,79	0,98
417	1,49	1,03	0,98	1,53	0,84	0,96	1,49	1,00	0,99	1,53	0,79	0,99
418	1,45	1,11	0,98	1,54	0,72	0,97	1,37	1,51	0,95	1,49	0,74	0,96
419	1,49	0,92	0,98	1,53	0,77	0,97	1,45	1,10	0,98	1,56	0,65	0,97
420	1,45	0,99	0,97	1,50	0,74	0,98	1,44	1,06	0,97	1,51	0,70	0,98
421	1,46	1,05	0,98	1,48	0,87	0,96	1,46	1,02	0,98	1,55	0,69	0,97
422	1,48	0,91	0,98	1,49	0.80	0,97	1,50	0.81	0,99	1,56	0.62	0,99
423	1.47	0.79	0.98	1.52	0.60	0.98	1.49	0.70	0.99	1.57	0.48	0.99
424	1.47	0.87	0.98	1.55	0.60	0.98	1.51	0.67	0.99	1.54	0.57	0.99
425	1 48	0.99	0.98	1.52	0.75	0.98	1 48	0.87	0.98	1 54	0.67	0.98
126	1,10	0,00	0,00	1,02	0.75	0.97	1,10	1 00	0,00	1,51	0,07	0.07
420	1,40	1 01	0,30	1,50	0,75	0,37	1,40	0.91	0,37	1,52	0,70	0,37
421	1,40	0.06	0,97	1,55	0,03	0,97	1,40	0,01	0,90	1,51	0,00	0,97
420	1,40	0,90	0,90	1,51	0,70	0,97	1,40	0,91	0,90	1,04	0,09	0,90
429	1,30	0,00	0,99	1,52	0,75	0,90	1,40	0,90	0,90	1,04	0,07	0,90
430	1,47	1,10	0,90	1,50	0,95	0,97	1,30	0,90	0,99	1,00	0,75	0,90
431	1,47	0,91	0,98	1,50	0,75	0,97	1,48	0,89	0,98	1,53	0,67	0,98
432	1,46	0,95	0,98	1,49	0,77	0,97	1,48	0,90	0,99	1,52	0,72	0,98
433	1,49	0,92	0,98	1,52	0,80	0,97	1,48	0,99	0,98	1,54	0,73	0,98
434	1,48	0,89	0,98	1,50	0,75	0,97	1,50	0,79	0,99	1,54	0,64	0,99
435	1,48	0,89	0,98	1,51	0,75	0,97	1,48	0,91	0,98	1,54	0,68	0,98
436	1,47	0,90	0,98	1,51	0,72	0,98	1,46	0,84	0,98	1,55	0,54	0,98
437	1,45	1,07	0,98	1,53	0,74	0,96	1,48	0,86	0,98	1,52	0,70	0,98
438	1,47	0,92	0,98	1,51	0,70	0,98	1,46	0,88	0,98	1,53	0,60	0,98
439	1,46	1,18	0,97	1,52	0,88	0,96	1,47	1,08	0,98	1,56	0,75	0,98
440	1,46	0,90	0,97	1,51	0,64	0,98	1,49	0,82	0,99	1,54	0,63	0,99
441	1,46	0,94	0,97	1,54	0,63	0,97	1,49	0,84	0,99	1,53	0,68	0,98
442	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
443	1,45	0.90	0.97	1.50	0.66	0.97	1,46	0.84	0.98	1.48	0.70	0,98
444	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0.97
445	1,48	0,87	0,98	1,53	0,68	0,98	1,43	1,11	0,97	1,50	0,78	0,96

446	1,48	0,96	0,98	1,50	0.82	0,96	1,45	1,11	0,98	1,54	0,74	0,96
447	1.48	0.85	0.98	1.54	0.62	0.98	1.51	0.70	0.99	1.54	0.59	0.99
448	1.48	0.99	0.98	1.52	0.77	0.98	1.46	1.03	0.98	1.52	0.77	0.97
449	1 46	1.08	0.98	1 54	0.75	0.97	1 47	1 00	0.98	1.56	0.69	0.98
450	1,10	1,00	0,00	1.54	0.74	0.97	1,17	0.95	0,00	1,00	0,00	0,00
450	1,47	0.01	0,90	1,04	0,74	0,97	1,47	0,95	0,90	1,04	0,00	0,97
401	1,40	0,91	0,98	1,49	0,74	0,97	1,49	0,79	0,98	1,51	0,00	0,98
452	1,48	1,02	0,98	1,50	0,88	0,97	1,45	1,16	0,97	1,55	0,76	0,98
453	1,48	0,83	0,98	1,53	0,65	0,99	1,46	0,86	0,98	1,52	0,61	0,98
454	1,47	1,01	0,98	1,57	0,66	0,98	1,50	0,88	0,99	1,54	0,71	0,99
455	1,46	0,97	0,98	1,52	0,70	0,97	1,48	0,80	0,98	1,54	0,58	0,98
456	1,43	0,95	0,97	1,46	0,73	0,97	1,28	2,29	0,91	1,47	0,74	0,95
457	1,46	0,97	0,98	1,52	0,71	0,97	1,47	0,96	0,98	1,53	0,70	0,98
458	1,48	0,80	0,98	1,51	0,66	0,98	1,50	0,67	0,99	1,53	0,58	0,99
459	1,47	1,15	0,98	1,53	0.83	0,97	1,48	1,04	0,97	1,51	0.85	0,98
460	1.47	0.89	0.97	1.50	0.70	0.97	1.47	0.92	0.98	1.50	0.72	0.97
461	1 49	0.84	0.99	1 51	0.72	0.98	1.50	0.76	0.99	1.55	0.60	0.99
462	1,10	0.80	0,00	1,51	0.63	0,00	1 11	0,70	0,00	1,00	0,00	0,00
462	1,40	0,00	0,30	1,55	0,00	0,33	1,77	0,52	0,37	1,50	0,02	0,37
403	1,40	0,92	0,90	1,51	0,70	0,97	1,47	0,95	0,90	1,00	0,71	0,90
464	1,48	0,87	0,99	1,50	0,73	0,98	1,51	0,74	0,99	1,54	0,61	0,99
465	1,45	1,05	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
466	1,49	0,94	0,98	1,52	0,77	0,98	1,48	0,90	0,98	1,52	0,72	0,99
467	1,47	1,17	0,98	1,51	0,90	0,97	1,47	1,06	0,98	1,55	0,76	0,98
468	1,49	1,02	0,98	1,49	0,96	0,96	1,46	1,12	0,98	1,54	0,80	0,96
469	1,49	0,89	0,99	1,52	0,75	0,98	1,46	1,00	0,98	1,54	0,68	0,98
470	1,47	0,90	0,98	1,51	0,71	0,97	1,46	0,96	0,98	1,53	0,66	0,98
471	1,46	0,92	0,97	1,50	0,72	0,97	1,49	0,87	0,99	1,53	0,70	0,98
472	1.45	0.93	0.97	1.51	0.67	0.98	1.47	0.82	0.98	1.54	0.58	0.98
473	1 49	0.83	0.98	1,50	0.75	0,98	1 48	0.86	0.98	1.55	0.63	0,98
474	1,10	0.82	0,00	1,53	0.63	0.98	1,10	0.71	0,00	1 53	0.59	0,00
475	1,40	0,02	0,00	1,50	0,00	0,00	1 11	0,71	0,00	1,50	0,00	0,00
475	1,40	0,90	0,90	1,52	0,04	0,90	1,44	0,90	0,97	1,52	0,03	0,90
470	1,40	0,05	0,90	1,52	0,00	0,90	1,44	0,92	0,97	1,52	0,00	0,97
4//	1,47	1,14	0,98	1,53	0,84	0,97	1,47	1,12	0,98	1,52	0,83	0,98
478	1,49	0,92	0,98	1,52	0,76	0,97	1,45	1,10	0,98	1,54	0,72	0,97
479	1,48	0,91	0,98	1,47	0,86	0,97	1,49	0,86	0,98	1,55	0,65	0,98
480	1,46	1,15	0,98	1,50	0,90	0,97	1,50	0,88	0,99	1,53	0,77	0,98
481	1,47	0,83	0,98	1,55	0,57	0,99	1,47	0,89	0,98	1,52	0,65	0,98
482	1,47	0,82	0,98	1,49	0,66	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,58	0,99
483	1,49	0,85	0,98	1,51	0,74	0,98	1,49	0,79	0,99	1,55	0,59	0,99
484	1,46	0,95	0,97	1,53	0,65	0,98	1,47	0,94	0,98	1,55	0,65	0,98
485	1,47	0,82	0,98	1,52	0,63	0,98	1,47	0,86	0,98	1,54	0,63	0,99
486	1.49	0.92	0.98	1.55	0.68	0.97	1.48	0.85	0.98	1.52	0.67	0.99
487	1.49	0.73	0.98	1.52	0.60	0.99	1.46	0.86	0.98	1.53	0.58	0.98
488	1,10	1 44	0.95	1 42	1 22	0.94	1 34	2 02	0.94	1 47	1 00	0.94
180	1,10	0.82	0,00	1 51	0.60	0.08	1,01	0.76	0,01	1,17	0.61	0,01
409	1,40	0,02	0,99	1,01	0,09	0,90	1,30	0,70	0,99	1,04	0,01	0,99
490	1,40	0,97	0,90	1,49	0,00	0,97	1,47	0,93	0,90	1,01	0,74	0,90
491	1,47	0,92	0,98	1,51	0,72	0,98	1,40	0,93	0,98	1,50	0,73	0,98
492	1,46	0,86	0,98	1,49	0,69	0,98	1,49	0,75	0,99	1,52	0,61	0,99
493	1,45	0,92	0,98	1,54	0,59	0,98	1,40	1,21	0,96	1,47	0,77	0,96
494	1,46	0,98	0,97	1,52	0,70	0,97	1,48	0,79	0,98	1,54	0,60	0,98
495	1,46	0,91	0,97	1,52	0,65	0,97	1,51	0,78	0,99	1,54	0,68	0,99
496	1,46	0,95	0,97	1,50	0,72	0,97	1,48	0,89	0,98	1,52	0,71	0,98
497	1,47	1,13	0,98	1,51	0,92	0,96	1,48	1,05	0,98	1,58	0,70	0,98
498	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0,93	0,98	1,56	0,57	0,97
499	1,49	0,86	0,98	1,51	0,75	0,97	1,47	0,93	0,98	1,52	0,72	0.98
500	1.45	1.01	0.97	1.51	0.71	0.97	1.46	0.94	0.97	1.51	0.69	0.98
501	1 50	0 79	0.99	1.52	0.68	0.98	1 51	0 74	0 99	1.57	0.59	0.96
502	1 / 2	0 07	0,00	1.52	0.70	0.07	1 /6	1 07	0,00	1 55	0.72	0,00
JUZ	1, 4 0	0,97	0,50	1,52	0,19	0,97	1,40	1,07	0,50	1,00	0,12	0,90

503	1.48	0.89	0.98	1.54	0.67	0.98	1.49	0.89	0.99	1.52	0.75	0.98
504	1.49	0.81	0.98	1.53	0.66	0.98	1.46	0.85	0.98	1.52	0.61	0.98
505	1.47	0.93	0.98	1.48	0.81	0.97	1.51	0.80	0.99	1.54	0.66	0.99
506	1 48	0.84	0.98	1.52	0.65	0.98	1,50	0.71	0.99	1 54	0.56	0.99
507	1,10	0.97	0.98	1 49	0.78	0.97	1 48	0.92	0.98	1 54	0,68	0.98
508	1,40	0,07	0,00	1,40	0,70	0,07	1,40	0,02	0,00	1,54	0,00	0,00
500	1,40	0,95	0,97	1,52	0,00	0,97	1,50	0,02	0,99	1,55	0,00	0,90
509	1,47	0,09	0,90	1,02	0,09	0,90	1,01	0,72	0,99	1,04	0,00	0,99
510	1,47	0,09	0,98	1,49	0,76	0,96	1,47	0,90	0,96	1,52	0,69	0,98
511	1,45	1,10	0,98	1,49	0,87	0,97	1,42	1,17	0,97	1,47	0,81	0,96
512	1,47	1,09	0,98	1,50	0,89	0,96	1,46	1,09	0,98	1,56	0,71	0,98
513	1,45	0,90	0,98	1,51	0,64	0,98	1,47	0,85	0,98	1,54	0,59	0,98
514	1,48	0,84	0,98	1,52	0,66	0,98	1,50	0,71	0,99	1,54	0,56	0,99
515	1,45	1,00	0,97	1,53	0,66	0,97	1,42	1,14	0,96	1,47	0,79	0,97
516	1,49	1,00	0,98	1,55	0,76	0,97	1,50	0,89	0,99	1,53	0,74	0,99
517	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
518	1,49	0,75	0,98	1,53	0,59	0,98	1,47	0,82	0,98	1,54	0,57	0,98
519	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,44	0,99	0,97	1,51	0,68	0,97
520	1,44	0,99	0,97	1,51	0,66	0,98	1,48	0,81	0,98	1,53	0,61	0,98
521	1,48	0,90	0,98	1,50	0,77	0,98	1,49	0,84	0,99	1,55	0,63	0,99
522	1,47	0,95	0,98	1,51	0,78	0,97	1,44	1,04	0,97	1,54	0,61	0,97
523	1,46	1,03	0,98	1,52	0,77	0,96	1,42	1,15	0,96	1,54	0,62	0,97
524	1.45	1.00	0.97	1.50	0.73	0.97	1.50	0.78	0.99	1.55	0.62	0.99
525	1.47	0.89	0.98	1.49	0.72	0.98	1.49	0.85	0.99	1.53	0.68	0.99
526	1 48	0.76	0.98	1.52	0.60	0.98	1 48	0.74	0.98	1.52	0.59	0.98
527	1,10	1 11	0.98	1,50	0,00	0.97	1 48	0.86	0.98	1.54	0,65	0.98
528	1 49	0.92	0,00	1,00	0,70	0.98	1,10	1 01	0.98	1,51	0,00	0.97
520	1 / 7	1 03	0,00	1,51	0,73	0,00	1 /7	0.03	0,00	1,50	0,00	0,07
520	1,47	0.80	0,30	1,50	0,02	0,37	1 / 3	1 03	0,30	1,53	0,00	0,37
521	1,40	0,00	0,90	1,52	0,00	0,99	1,43	1,00	0,97	1,55	0,59	0,90
501	1,43	0,02	0,90	1,55	0,07	0,90	1,41	0.74	0,90	1,54	0,09	0,97
532	1,50	0,79	0,99	1,52	0,70	0,90	1,01	1.02	0,99	1,57	0,00	0,90
533	1,40	1,10	0,98	1,51	0,92	0,97	1,40	1,02	0,99	1,55	0,76	0,96
534	1,49	0,74	0,98	1,51	0,65	0,96	1,49	0,71	0,99	1,54	0,50	0,99
535	1,45	1,11	0,98	1,54	0,75	0,97	1,47	0,97	0,98	1,54	0,71	0,97
536	1,44	1,02	0,97	1,51	0,70	0,97	1,44	1,04	0,97	1,51	0,70	0,97
537	1,48	0,86	0,98	1,51	0,72	0,98	1,50	0,74	0,99	1,54	0,61	0,99
538	1,46	0,95	0,97	1,51	0,71	0,97	1,47	0,93	0,98	1,52	0,72	0,98
539	1,48	0,81	0,98	1,51	0,66	0,98	1,50	0,68	0,99	1,53	0,58	0,99
540	1,48	0,99	0,98	1,54	0,74	0,97	1,49	0,85	0,99	1,53	0,68	0,98
541	1,48	0,76	0,98	1,51	0,62	0,98	1,50	0,64	0,99	1,51	0,59	0,99
542	1,47	0,80	0,98	1,50	0,65	0,98	1,49	0,76	0,98	1,54	0,57	0,98
543	1,49	0,93	0,98	1,53	0,76	0,97	1,48	0,92	0,98	1,52	0,74	0,98
544	1,46	0,92	0,98	1,49	0,71	0,98	1,47	0,85	0,98	1,52	0,63	0,98
545	1,48	1,02	0,98	1,52	0,81	0,97	1,49	0,86	0,99	1,53	0,71	0,99
546	1,45	1,08	0,97	1,49	0,81	0,97	1,48	0,85	0,98	1,54	0,64	0,98
547	1,45	0,99	0,97	1,52	0,67	0,97	1,47	0,90	0,98	1,52	0,69	0,98
548	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
549	1,46	1,13	0,98	1,50	0,86	0,97	1,50	0,85	0,99	1,50	0,83	0,99
550	1,46	0,97	0,98	1,52	0,71	0,97	1,47	0,95	0,98	1,52	0,74	0,98
551	1,48	1,05	0,98	1,50	0,94	0,96	1,47	1,10	0,98	1,57	0,74	0,97
552	1,47	0,92	0,98	1,51	0,72	0,98	1,46	0,93	0,98	1,50	0,73	0,98
553	1,45	0,94	0,98	1,55	0,57	0,98	1,40	1,22	0,96	1,47	0,78	0,96
554	1.46	0.89	0.97	1.49	0.69	0.98	1.50	0.75	0.99	1.53	0.63	0.98
555	1.48	0.82	0.99	1.51	0.69	0.98	1.50	0.76	0.99	1.54	0.61	0.99
556	1.46	0.83	0.98	1.49	0.67	0.98	1.48	0.74	0.99	1.56	0.52	0.99
557	1.48	0.96	0.98	1.52	0.77	0.98	1.50	0.86	0.99	1.54	0.73	0.99
558	1.49	0.99	0.98	1.50	0.90	0.96	1.45	1,17	0.98	1.54	0.78	0.97
559	1 45	1.05	0.98	1 59	0.57	0.98	1.38	1 42	0.94	1 49	0 70	0.96
	., .0	1,00	5,50	.,00	5,51	5,50	.,	·, · ·	5,54	.,	5,10	5,50

560	1.48	0.96	0.98	1.56	0.65	0.98	1.49	0.89	0.99	1.53	0.72	0.99
561	1.48	0.83	0.98	1.53	0.64	0.99	1.49	0.84	0.99	1.54	0.63	0.99
562	1.45	1.00	0.97	1.50	0.72	0.96	1.48	0.76	0.98	1.54	0.58	0.98
563	1 47	0.91	0.98	1 50	0.71	0.97	1 48	0.85	0.98	1.53	0.64	0.98
564	1 47	0,01	0.98	1 49	0.77	0.97	1,10	0.81	0,00	1 54	0.64	0,00
565	1 /7	0,00	0,00	1,40	0,77	0,07	1 / 8	0,01	0,00	1,57	0,04	0,00
566	1,47	0,95	0,90	1,55	0,03	0,97	1,40	0,94	0,90	1,52	0,75	0,90
500	1,40	0,92	0,90	1,50	0,71	0,97	1,49	0,01	0,90	1,02	0,00	0,90
507	1,47	0,90	0,97	1,47	0,01	0,97	1,40	0,00	0,96	1,51	0,71	0,96
568	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0,93	0,98	1,56	0,57	0,97
569	1,45	0,90	0,98	1,52	0,62	0,98	1,48	0,76	0,98	1,54	0,55	0,99
570	1,48	0,94	0,98	1,49	0,82	0,96	1,48	0,91	0,98	1,54	0,72	0,96
571	1,49	0,65	0,98	1,51	0,56	0,99	1,47	0,72	0,98	1,52	0,51	0,99
572	1,48	0,89	0,98	1,47	0,83	0,97	1,49	0,76	0,99	1,55	0,57	0,99
573	1,47	0,82	0,98	1,49	0,66	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,58	0,99
574	1,46	0,94	0,97	1,50	0,72	0,97	1,46	0,96	0,97	1,48	0,78	0,97
575	1,48	0,76	0,98	1,52	0,59	0,98	1,48	0,75	0,98	1,52	0,60	0,98
576	1,48	0,72	0,99	1,52	0,55	0,99	1,44	0,89	0,98	1,53	0,55	0,98
577	1,48	0,96	0,98	1,56	0,66	0,97	1,48	0,93	0,99	1,55	0,68	0,98
578	1,45	1,00	0,97	1,51	0,72	0,97	1,49	0,86	0,99	1,53	0,72	0,98
579	1,49	0.80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
580	1.46	0.96	0.98	1.50	0.73	0.97	1.45	1.01	0.97	1.47	0.82	0.97
581	1.47	0.86	0.98	1.49	0.73	0.98	1.47	0.87	0.98	1.51	0.67	0.98
582	1.48	1.12	0.98	1.52	0.87	0.96	1.44	1.23	0.97	1.52	0.81	0.97
583	1 46	0.90	0.98	1.50	0.68	0.98	1 48	0.81	0.98	1.52	0.64	0.98
584	1 45	1 04	0.98	1 49	0.79	0.97	1 47	0.95	0.98	1.56	0.62	0.98
585	1,10	0.70	0,00	1,10	0.55	0,07	1 48	0,00	0,00	1,00	0.57	0,00
586	1,10	0.96	0,00	1,50	0,00	0,00	1,10	0,10	0,00	1,51	0.73	0,00
587	1,40	0,50	0,00	1,52	0,77	0,00	1 / 8	0,00	0,00	1,54	0,70	0,00
599	1,30	0,09	0,99	1,55	0,53	0,99	1,40	0,77	0,90	1,51	0,05	0,90
500	1,40	0,02	0,90	1,50	0,07	0,90	1,30	0,09	0,99	1,04	0,00	0,99
509	1,40	0,99	0,90	1,55	0,09	0,90	1,47	0,09	0,90	1,01	0,00	0,97
590	1,40	0,87	0,98	1,50	0,67	0,97	1,49	0,75	0,99	1,53	0,60	0,99
591	1,40	0,00	0,98	1,52	0,69	0,98	1,49	0,00	0,99	1,52	0,71	0,99
592	1,47	1,00	0,98	1,54	0,71	0,98	1,45	1,03	0,98	1,53	0,69	0,98
593	1,46	1,07	0,98	1,53	0,77	0,97	1,47	0,96	0,98	1,54	0,70	0,97
594	1,46	1,13	0,98	1,50	0,86	0,97	1,51	0,85	0,99	1,50	0,83	0,99
595	1,46	1,07	0,98	1,53	0,77	0,96	1,47	0,98	0,98	1,54	0,69	0,97
596	1,46	0,95	0,97	1,51	0,70	0,97	1,49	0,88	0,99	1,53	0,70	0,98
597	1,48	0,98	0,98	1,52	0,74	0,97	1,49	0,86	0,98	1,54	0,67	0,98
598	1,39	1,71	0,95	1,43	1,23	0,91	1,34	2,04	0,94	1,38	1,43	0,89
599	1,47	0,92	0,98	1,51	0,72	0,98	1,46	0,93	0,98	1,50	0,73	0,98
600	1,48	1,09	0,98	1,53	0,85	0,96	1,49	0,97	0,98	1,51	0,84	0,98
601	1,46	0,97	0,98	1,48	0,83	0,97	1,48	0,92	0,98	1,53	0,71	0,98
602	1,50	0,78	0,99	1,53	0,68	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,59	0,96
603	1,47	1,02	0,98	1,51	0,85	0,96	1,48	1,00	0,98	1,57	0,72	0,98
604	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0,93	0,98	1,57	0,57	0,97
605	1,46	0,94	0,98	1,53	0,63	0,98	1,43	1,07	0,97	1,51	0,66	0,97
606	1,48	0,93	0,98	1,55	0,66	0,97	1,47	0,85	0,98	1,54	0,59	0,98
607	1,48	0,96	0,98	1,49	0,84	0,97	1,49	0,84	0,98	1,56	0,58	0,98
608	1,46	0,88	0,98	1,49	0,72	0,97	1,49	0,75	0,99	1,53	0,60	0,99
609	1,48	0,75	0,99	1,52	0,61	0,98	1,50	0,65	0,99	1,52	0,57	0,99
610	1,48	0,87	0,98	1,53	0,67	0,98	1,44	0,94	0,97	1,53	0,58	0,97
611	1,49	1,04	0,98	1,54	0,81	0,97	1,49	0,97	0,99	1,53	0,80	0,99
612	1,50	0,79	0,99	1,52	0,70	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,59	0,96
613	1,48	0,84	0,98	1,51	0,68	0,98	1,48	0,84	0,98	1,52	0,66	0,98
614	1.46	1.02	0.98	1.50	0.77	0.97	1.47	0.95	0.98	1.56	0.62	0.98
615	1.46	0.85	0.98	1.50	0.65	0.98	1.49	0.71	0.99	1.57	0.50	0.99
616	1.49	0.75	0.98	1.51	0.62	0.98	1.48	0.80	0.98	1.53	0.59	0.98
	,	- ,	- ,	, = :	-,-=	-,	,	- ,	-,	,	- ,	- ,

617	1.47	0.86	0.98	1.53	0.63	0.98	1.50	0.72	0.99	1.55	0.56	0.99
618	1.47	0.87	0.98	1.55	0.60	0.98	1.51	0.67	0.99	1.54	0.57	0.99
619	1.47	0.93	0.98	1.48	0.79	0.97	1.48	0.92	0.98	1.53	0.71	0.98
620	1 47	0.91	0.98	1 50	0,70	0.98	1 47	0.90	0.98	1.51	0.71	0.98
621	1 48	0.94	0.98	1,53	0.71	0.98	1 47	0.95	0.98	1 54	0.68	0.98
622	1,40	0,04	0,00	1,50	0,68	0,00	1 /0	0,00	0,00	1,54	0,00	0,00
622	1,40	1.07	0,90	1,51	0,00	0,90	1,43	1 1 2	0,99	1,04	0,00	0,99
023	1,40	1,07	0,90	1,51	0,00	0,90	1,43	1,12	0,97	1,47	0,02	0,90
024	1,47	0,91	0,98	1,50	0,75	0,97	1,47	0,93	0,96	1,55	0,69	0,98
625	1,44	0,91	0,97	1,50	0,64	0,98	1,41	1,10	0,96	1,48	0,71	0,96
626	1,46	0,91	0,98	1,52	0,66	0,98	1,45	1,00	0,97	1,49	0,74	0,97
627	1,45	1,05	0,97	1,52	0,69	0,97	1,50	0,75	0,99	1,54	0,62	0,99
628	1,47	0,91	0,98	1,52	0,69	0,98	1,49	0,88	0,99	1,52	0,75	0,99
629	1,45	0,92	0,97	1,52	0,62	0,98	1,46	0,87	0,98	1,53	0,59	0,98
630	1,46	0,95	0,98	1,53	0,66	0,98	1,48	0,85	0,98	1,53	0,62	0,98
631	1,44	1,02	0,97	1,50	0,72	0,97	1,50	0,78	0,99	1,55	0,60	0,99
632	1,46	0,91	0,97	1,51	0,68	0,98	1,48	0,82	0,98	1,53	0,62	0,98
633	1,49	0,97	0,98	1,52	0,82	0,97	1,46	1,12	0,98	1,54	0,76	0,98
634	1,47	0,82	0,98	1,49	0,66	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,58	0,99
635	1,47	1,06	0,98	1,51	0,88	0,96	1,47	1,09	0,98	1,54	0,80	0,97
636	1,45	0,98	0,97	1,51	0,71	0,97	1,47	0,93	0,98	1,51	0,73	0,98
637	1,48	0,92	0,98	1,55	0,67	0,97	1,47	0,86	0,98	1,52	0,66	0,98
638	1,45	0,96	0,97	1,46	0,81	0,97	1,47	0,91	0,98	1,52	0,69	0,98
639	1,48	0.95	0,98	1,52	0,77	0.98	1,50	0.86	0,99	1,54	0,73	0,99
640	1.45	0.99	0.97	1.50	0.75	0.98	1.46	0.89	0.98	1.54	0.61	0.98
641	1.49	0.84	0.99	1.52	0.68	0.98	1.48	0.79	0.99	1.55	0.58	0.99
642	1 47	0.86	0,98	1.55	0,60	0.98	1,51	0.67	0,99	1.54	0.57	0,99
643	1 48	0.87	0,98	1.53	0.68	0.98	1 43	1 11	0.97	1,50	0.78	0,96
644	1,10	0.94	0,00	1 49	0.82	0,00	1,10	0.91	0.98	1,50	0,70	0.96
645	1,40	0,04	0,00	1,40	0,62	0,00	1,40	0.95	0,00	1,54	0,72	0,00
646	1,40	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,07	1,50	0,70	0,07
647	1,40	0,33	0,30	1,70	0,70	0,30	1,45	0,01	0,30	1,51	0,07	0,30
649	1,40	0,71	0,90	1,52	0,50	0,99	1,40	0,04	0,90	1,55	0,55	0,90
0 4 0 640	1,49	1 20	0,90	1,00	0,03	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	1.05	0,97
049	1,40	1,20	0,97	1,49	0,94	0,90	1,55	2,15	0,93	1,40	1,05	0,95
000	1,40	0,93	0,97	1,51	0,00	0,97	1,51	0,75	0,99	1,54	0,65	0,99
051	1,49	0,94	0,98	1,50	0,82	0,97	1,48	0,91	0,98	1,57	0,64	0,98
052	1,49	0,92	0,98	1,53	0,77	0,97	1,45	1,10	0,98	1,50	0,65	0,97
653	1,45	1,05	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
654	1,48	0,75	0,98	1,52	0,59	0,99	1,45	0,89	0,97	1,49	0,66	0,98
655	1,45	1,01	0,97	1,51	0,71	0,97	1,46	0,94	0,97	1,51	0,70	0,98
656	1,47	0,89	0,98	1,50	0,70	0,98	1,49	0,86	0,99	1,54	0,68	0,99
657	1,47	0,93	0,97	1,53	0,67	0,98	1,50	0,82	0,99	1,55	0,63	0,99
658	1,47	0,97	0,98	1,53	0,73	0,97	1,38	1,41	0,95	1,50	0,68	0,96
659	1,46	1,15	0,98	1,54	0,80	0,96	1,48	0,96	0,98	1,53	0,75	0,97
660	1,48	0,88	0,98	1,53	0,70	0,97	1,49	0,80	0,99	1,55	0,59	0,98
661	1,48	0,82	0,99	1,51	0,69	0,98	1,50	0,76	0,99	1,54	0,61	0,99
662	1,45	0,93	0,98	1,55	0,57	0,98	1,40	1,21	0,96	1,47	0,77	0,96
663	1,48	0,95	0,98	1,52	0,74	0,98	1,49	0,87	0,99	1,54	0,69	0,98
664	1,45	1,04	0,98	1,49	0,82	0,98	1,48	0,87	0,99	1,54	0,65	0,98
665	1,49	1,01	0,98	1,53	0,81	0,98	1,47	1,07	0,98	1,55	0,76	0,98
666	1,48	0,87	0,98	1,48	0,82	0,97	1,50	0,81	0,99	1,55	0,62	0,99
667	1,46	0,95	0,97	1,53	0,65	0,98	1,47	0,94	0,98	1,55	0,65	0,98
668	1,45	0,95	0,98	1,55	0,57	0,98	1,40	1,22	0,96	1,47	0,78	0,96
669	1,48	0,94	0,98	1,49	0,83	0,97	1,48	0,84	0,98	1,57	0,57	0,98
670	1,47	0,95	0,98	1,53	0,70	0,98	1,48	0,90	0,98	1,53	0,71	0,98
671	1,50	0,77	0,99	1,52	0,70	0,98	1,51	0,73	0,99	1,58	0,58	0.96
672	1,48	0.99	0,98	1.53	0.77	0.98	1.50	0.87	0.99	1.52	0,74	0.98
673	1,49	1,00	0,98	1,50	0,92	0,96	1,46	1,11	0,97	1,55	0,77	0.97
			-						-			

674	1.47	0.89	0.98	1.52	0.68	0.98	1.51	0.72	0.99	1.54	0.62	0.99
675	1.38	1.73	0.95	1.43	1.23	0.91	1.34	2.04	0.94	1.38	1.43	0.89
676	1 47	0.82	0.98	1.52	0.63	0.98	1 47	0.86	0.98	1.51	0.65	0.98
677	1 / 8	0.84	0,00	1 / 0	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00	1,51	0,00	0,00
679	1,47	0,04	0,30	1,40	0,75	0,30	1,00	0,73	0,33	1,54	0,53	0,33
070	1,47	0,00	0,90	1,49	0,00	0,97	1,40	0,74	0,99	1,00	0,54	0,99
679	1,49	0,98	0,99	1,53	0,79	0,97	1,40	1,06	0,98	1,54	0,75	0,98
680	1,47	0,91	0,98	1,51	0,73	0,98	1,50	0,83	0,99	1,55	0,65	0,99
681	1,49	1,03	0,98	1,52	0,87	0,97	1,48	1,04	0,98	1,55	0,78	0,98
682	1,46	0,92	0,98	1,51	0,70	0,97	1,49	0,81	0,99	1,53	0,66	0,98
683	1,48	1,01	0,98	1,53	0,78	0,97	1,50	0,87	0,99	1,52	0,75	0,99
684	1,43	1,03	0,97	1,49	0,72	0,97	1,49	0,75	0,99	1,54	0,57	0,99
685	1,44	1,37	0,96	1,44	1,15	0,94	1,37	1,77	0,94	1,49	0,95	0,95
686	1,49	0,93	0,98	1,49	0,90	0,97	1,47	1,02	0,98	1,52	0,80	0,97
687	1,47	0,99	0,97	1,53	0,70	0,97	1,47	0,90	0,98	1,51	0,69	0,97
688	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0.58	0,98
689	1.48	0.92	0.98	1.49	0.80	0.97	1.50	0.84	0.99	1.54	0.68	0.99
690	1 45	1.08	0,98	1 47	0.87	0.97	1 46	0.94	0.98	1.55	0.63	0.98
691	1 49	0.74	0.98	1 47	0.71	0.98	1 47	0.82	0.98	1 53	0.58	0.98
602	1 /7	0.82	0,00	1 / 0	0.66	0,00	1,17	0.62	0,00	1,50	0,58	0,00
602	1,46	0,02	0,30	1,73	0,00	0,30	1 / 0	0,02	0,33	1,52	0,50	0,33
093	1,40	0,92	0,90	1,55	0,04	0,90	1,40	0,03	0,90	1,01	0,00	0,90
094	1,50	0,79	0,99	1,52	0,70	0,96	1,51	0,73	0,99	1,57	0,59	0,96
695	1,48	0,94	0,98	1,51	0,76	0,97	1,47	0,97	0,98	1,53	0,71	0,98
696	1,48	1,08	0,98	1,53	0,86	0,97	1,51	0,91	0,99	1,52	0,82	0,99
697	1,47	0,80	0,98	1,52	0,60	0,98	1,49	0,70	0,99	1,57	0,48	0,99
698	1,45	1,10	0,98	1,49	0,85	0,96	1,44	1,04	0,97	1,49	0,76	0,97
699	1,47	0,98	0,98	1,52	0,76	0,98	1,48	0,91	0,98	1,54	0,67	0,98
700	1,46	0,93	0,97	1,52	0,68	0,97	1,49	0,88	0,99	1,54	0,69	0,98
701	1,44	1,06	0,98	1,47	0,81	0,96	1,46	1,00	0,98	1,53	0,70	0,97
702	1,48	0,86	0,98	1,53	0,67	0,98	1,45	0,92	0,97	1,52	0,61	0,97
703	1,49	0,95	0,98	1,53	0,75	0,97	1,47	0,94	0,98	1,52	0,71	0,98
704	1,49	0,95	0,99	1,54	0,74	0,98	1,47	1,03	0,98	1,52	0,80	0,97
705	1.48	0.77	0.98	1.53	0.60	0.99	1.46	0.86	0.98	1.50	0.66	0.98
706	1.48	0.80	0.98	1.48	0.70	0.98	1.51	0.65	0.99	1.53	0.55	0.99
707	1 48	0,69	0.98	1 51	0.57	0.98	1 47	0,00	0.98	1.52	0.52	0.98
708	1,10	0.82	0,00	1 49	0,66	0,00	1,17	0.62	0,00	1,52	0.58	0,00
700	1 / 8	0,02	0,00	1 51	0,57	0,00	1,01	0,02	0,00	1,52	0,50	0,00
703	1,40	0,03	0,30	1,51	0,07	0,30	1,-1	0,70	0,30	1,52	0,52	0,30
710	1,40	0,02	0,99	1,51	0,03	0,90	1,50	0,70	0,99	1,04	0,01	0,99
711	1,40	0,67	0,99	1,52	0,70	0,96	1,51	0,75	0,99	1,55	0,60	0,99
712	1,48	0,95	0,98	1,49	0,81	0,97	1,49	0,82	0,98	1,56	0,57	0,98
713	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
714	1,48	0,90	0,98	1,53	0,71	0,97	1,48	0,88	0,98	1,54	0,63	0,98
715	1,45	1,12	0,97	1,49	0,87	0,97	1,43	1,10	0,97	1,48	0,80	0,96
716	1,47	0,88	0,98	1,50	0,72	0,98	1,48	0,85	0,98	1,51	0,69	0,98
717	1,47	0,81	0,98	1,51	0,62	0,98	1,49	0,68	0,99	1,57	0,49	0,99
718	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0,92	0,98	1,56	0,57	0,97
719	1,48	0,77	0,98	1,50	0,64	0,98	1,51	0,63	0,99	1,51	0,60	0,99
720	1,47	1,06	0,98	1,55	0,75	0,96	1,47	1,07	0,98	1,55	0,79	0,97
721	1,46	0,92	0,97	1,50	0,71	0,97	1,48	0,84	0,98	1,52	0,66	0,98
722	1.46	0.84	0.98	1.51	0.63	0.98	1.45	0.92	0.97	1.48	0.71	0.98
723	1.47	0.82	0.98	1.52	0.62	0.98	1.45	0.94	0.97	1.50	0.67	0.98
724	1 46	0.97	0,98	1.52	0 71	0.97	1 47	0.95	0.98	1.52	0.74	0.98
725	1,10	0.78	0,00	1 / 0	0.64	0.08	1,17	0,00	0,00	1,52	0.56	0,00
726	1 /0	0,70	0,00	1 55	0,07	0,30	1 /0	0,10	0,00	1 53	0,00	0,00
120 707	1,43	0,33	0,30	1,00	0,13	0,97	1,49	0,00	0,99	1,00	0,70	0,99
121	1,47	0,92	0,90	1,50	0,75	0,97	1,50	0,79	0,99	1,54	0,00	0,99
12ŏ 700	1,47	0,90	0,98	1,50	0,74	0,97	1,51	0,76	0,99	1,55	0,62	0,99
729	1,49	0,90	0,98	1,51	0,79	0,97	1,49	0,86	0,98	1,54	0,68	0,98
730	1,48	0,96	0,98	1,50	0,82	0,98	1,46	1,07	0,98	1,51	0,82	0,97

704	4 40	0.70	0.00	4 50	0 57	0.00	4 47	0.70	0.00	4 54	0.00	0.00
731	1,49	0,73	0,98	1,53	0,57	0,99	1,47	0,78	0,98	1,51	0,60	0,98
732	1,45	1,09	0,97	1,49	0,79	0,98	1,47	0,91	0,98	1,56	0,60	0,98
733	1,48	1,01	0,98	1,53	0,79	0,97	1,48	0,92	0,98	1,52	0,75	0,98
734	1.49	0.83	0.99	1.51	0.72	0.99	1.50	0.76	0.99	1.55	0.61	0.99
735	1 47	0.81	0.98	1 48	0.67	0.98	1 51	0.62	0 99	1 52	0.57	0 99
726	1,46	0,01	0,00	1,40	0,57	0,00	1.00	1 4 2	0,00	1 40	0,07	0,00
730	1,40	0,99	0,90	1,59	0,57	0,97	1,30	1,42	0,94	1,49	0,70	0,90
737	1,48	0,95	0,98	1,50	0,83	0,98	1,47	1,03	0,98	1,51	0,79	0,97
738	1,47	1,11	0,97	1,51	0,88	0,96	1,47	1,07	0,98	1,56	0,71	0,97
739	1,48	0,77	0,98	1,50	0,64	0,98	1,50	0,67	0,99	1,52	0,58	0,99
740	1,49	0,81	0,98	1,53	0,65	0,99	1,46	0,86	0,98	1,53	0,60	0,98
741	1.45	0.90	0.98	1.52	0.64	0.98	1.48	0.80	0.98	1.54	0.56	0.98
742	1 48	0.88	0.98	1 52	0.72	0.98	1 48	0.84	0.98	1 53	0.64	0 99
7/2	1,10	0,00	0,00	1,52	0.71	0,00	1 /7	0.05	0,00	1,00	0,01	0,00
743	1,40	0,97	0,90	1,52	0,71	0,97	1,47	0,95	0,30	1,55	0,70	0,30
744	1,48	0,81	0,98	1,52	0,64	0,98	1,50	0,69	0,99	1,55	0,54	0,99
745	1,49	1,08	0,98	1,49	0,99	0,97	1,48	1,04	0,98	1,53	0,84	0,98
746	1,48	0,83	0,98	1,51	0,68	0,98	1,46	0,82	0,98	1,53	0,56	0,98
747	1,47	0,87	0,98	1,50	0,71	0,97	1,46	0,92	0,98	1,53	0,64	0,97
748	1,45	0,99	0,97	1,50	0,71	0,98	1,48	0,81	0,98	1,52	0,63	0,98
749	1,48	0,70	0,98	1,51	0,56	0,99	1,45	0.80	0,98	1,53	0,51	0,99
750	1 45	0.97	0.97	1 51	0.72	0.98	1 47	0.83	0.98	1.54	0,60	0.98
751	1 / 9	0.80	0.08	1,53	0.63	0,00	1 11	0.92	0.97	1,50	0.62	0.07
750	1,40	0,00	0,30	1,55	0,00	0,33	1,40	0,32	0,37	1,50	0,02	0,37
752	1,49	0,83	0,99	1,52	0,67	0,99	1,49	0,79	0,99	1,53	0,62	0,99
753	1,48	1,02	0,98	1,50	0,87	0,96	1,49	0,89	0,99	1,53	0,72	0,98
754	1,48	0,87	0,98	1,52	0,69	0,98	1,48	0,82	0,98	1,56	0,55	0,98
755	1,49	1,02	0,98	1,48	1,00	0,96	1,47	1,08	0,98	1,57	0,73	0,97
756	1,47	0,86	0,98	1,49	0,73	0,98	1,46	0,89	0,98	1,51	0,67	0,98
757	1,47	0,98	0,98	1,52	0,73	0,97	1,46	0,97	0,98	1,53	0,70	0,97
758	1.48	0.99	0.98	1.51	0.82	0.96	1.47	1.06	0.98	1.54	0.76	0.97
759	1 49	0.96	0.98	1 52	0.80	0.97	1 46	1 11	0.98	1 55	0.72	0.98
760	1,43	0,00	0,00	1,52	0,00	0,07	1,40	0.72	0,00	1,00	0,72	0,00
700	1,47	0,00	0,90	1,55	0,00	0,90	1,01	0,72	0,99	1,04	0,02	0,99
701	1,47	0,79	0,98	1,50	0,65	0,98	1,51	0,64	0,99	1,51	0,59	0,99
762	1,46	0,97	0,98	1,52	0,71	0,97	1,47	0,98	0,98	1,53	0,71	0,98
763	1,49	0,89	0,99	1,52	0,75	0,98	1,46	1,00	0,98	1,54	0,68	0,98
764	1,47	1,07	0,98	1,51	0,90	0,96	1,45	1,18	0,98	1,54	0,77	0,98
765	1,48	0,86	0,98	1,53	0,69	0,98	1,48	0,93	0,98	1,52	0,74	0,98
766	1,45	0,90	0,98	1,50	0,67	0,97	1,47	0.81	0,98	1,50	0,66	0,98
767	1.49	0.95	0.98	1.54	0.75	0.97	1.49	0.82	0.98	1.52	0.69	0.98
768	1 / 6	0.03	0.97	1 / 8	0.77	0.97	1 50	0.77	0 99	1.54	0.61	0.08
760	1,40	0,35	0,37	1,70	0,11	0,37	1,00	1 10	0,33	1,04	0,01	0,30
709	1,47	0,90	0,90	1,50	0,00	0,97	1,43	1,10	0,97	1,00	0,03	0,97
770	1,48	1,11	0,98	1,49	0,98	0,96	1,49	1,01	0,98	1,54	0,79	0,98
//1	1,46	0,88	0,98	1,52	0,65	0,98	1,48	0,78	0,98	1,54	0,56	0,99
772	1,47	1,01	0,98	1,57	0,66	0,98	1,50	0,88	0,99	1,54	0,71	0,99
773	1,50	0,88	0,99	1,54	0,73	0,98	1,46	1,04	0,98	1,54	0,74	0,98
774	1,46	0,85	0,97	1,50	0,64	0,98	1,45	0,93	0,98	1,51	0,64	0,97
775	1,45	0,99	0,97	1,52	0,67	0,97	1,50	0,75	0,99	1,55	0,61	0,99
776	1.50	0.73	0.98	1.54	0.58	0.98	1.49	0.75	0.99	1.54	0.57	0.98
777	1 47	1 03	0.97	1 51	0.80	0.96	1 / 8	0.80	0.08	1 54	0.68	0.08
770	1,46	0.07	0,57	1,51	0,00	0,30	1,47	0,03	0,30	1,04	0,00	0,30
110	1,40	0,97	0,96	1,52	0,71	0,97	1,47	0,94	0,98	1,53	0,70	0,98
779	1,49	1,01	0,98	1,54	0,78	0,98	1,47	1,04	0,98	1,54	0,77	0,97
780	1,48	1,05	0,98	1,56	0,75	0,96	1,48	0,96	0,99	1,53	0,78	0,99
781	1,46	0,99	0,98	1,54	0,65	0,97	1,47	0,84	0,98	1,53	0,61	0,98
782	1,47	0,97	0,98	1,52	0,72	0,97	1,48	0,82	0,98	1,52	0,64	0,98
783	1,48	0,95	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99
784	1.46	0.92	0.97	1.50	0.73	0.97	1.49	0.87	0.99	1.53	0.70	0.98
785	1 49	0.85	0.98	1 51	0 72	0.98	1 47	0.90	0.98	1.53	0.67	0 98
786	1 / 2	0.85	0.02	1 52	0.67	0 00	1 50	0.74	0 00	1 54	0.62	0 00
707	1,40	0,00	0,30	1,52	0,07	0,99	1,00	0,14	0,99	1,04	0,03	0,99
101	1,40	0,95	0,97	1,51	0,00	0,97	1,4ŏ	0,00	0,98	1,54	0,05	0,98

788	1.45	0.89	0.98	1.51	0.63	0.97	1.48	0.78	0.98	1.54	0.56	0.99
789	1 46	1 01	0,98	1 51	0 77	0.97	1 46	0,98	0.98	1 55	0.65	0.98
700	1,10	0.92	0,00	1 51	0.76	0.97	1,10	0.01	0.98	1,50	0.54	0.08
701	1,40	1 09	0,00	1,51	0,70	0,07	1,40	1 01	0,00	1,57	0,04	0,00
700	1,40	0.02	0,90	1,04	0,72	0,90	1,40	0.05	0,90	1,04	0,09	0,97
792	1,40	0,93	0,98	1,54	0,70	0,97	1,40	0,85	0,96	1,52	0,00	0,96
793	1,48	1,01	0,98	1,53	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,52	0,74	0,99
794	1,46	0,87	0,98	1,50	0,67	0,97	1,47	0,81	0,98	1,49	0,66	0,98
795	1,46	0,84	0,98	1,52	0,61	0,97	1,48	0,75	0,98	1,55	0,54	0,98
796	1,45	0,96	0,98	1,53	0,64	0,98	1,44	1,02	0,97	1,52	0,66	0,97
797	1,48	0,95	0,98	1,53	0,73	0,98	1,48	0,91	0,99	1,55	0,66	0,98
798	1,48	0,95	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99
799	1,48	0,75	0,98	1,52	0,59	0,99	1,45	0,89	0,97	1,49	0,66	0,98
800	1,34	1,74	0,92	1,38	1,34	0,88	1,42	1,03	0,96	1,43	0.93	0,96
801	1.47	1.02	0.98	1.52	0.80	0.97	1.46	1.11	0.98	1.54	0.74	0.98
802	1 45	1 00	0,98	1 50	0.75	0.97	1 49	0.88	0,99	1.53	0.71	0.98
803	1,10	0.99	0.98	1,53	0.78	0.97	1 48	0.92	0.98	1 52	0.73	0.98
900 904	1,40	0,05	0,00	1,50	0,70	0,07	1,40	0,02	0,00	1,52	0,70	0,00
004	1,49	1.00	0,90	1,54	0,75	0,97	1,49	0,02	0,90	1,52	0,09	0,90
000	1,40	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,40	0,76	0,96	1,54	0,58	0,98
806	1,47	0,91	0,98	1,51	0,70	0,97	1,50	0,76	0,99	1,54	0,63	0,99
807	1,48	0,92	0,98	1,51	0,80	0,97	1,45	1,12	0,98	1,53	0,75	0,97
808	1,46	1,14	0,98	1,56	0,74	0,97	1,47	1,00	0,98	1,53	0,75	0,98
809	1,44	1,11	0,97	1,50	0,78	0,97	1,48	0,85	0,98	1,55	0,64	0,99
810	1,47	1,11	0,97	1,53	0,82	0,97	1,48	1,00	0,98	1,55	0,74	0,98
811	1,47	0,93	0,98	1,53	0,68	0,98	1,49	0,87	0,99	1,51	0,75	0,98
812	1,45	1,01	0,98	1,49	0,77	0,97	1,46	0,92	0,98	1,53	0,65	0,97
813	1,47	1,14	0,98	1,54	0,84	0,96	1,51	0,91	0,98	1,52	0,83	0,98
814	1.48	0.91	0.98	1.52	0.75	0.97	1.45	0.96	0.97	1.56	0.56	0.97
815	1.48	0.88	0.98	1.55	0.63	0.98	1.47	0.95	0.98	1.53	0.72	0.98
816	1 46	0.91	0.98	1.52	0.65	0.98	1.50	0.72	0.99	1.55	0.56	0,00
817	1 / 0	0.80	0,00	1.53	0,00	0,00	1,00	0.87	0,00	1,50	0,60	0,00
017	1,40	0,00	0,30	1,55	0,00	0,00	1 /2	1 1 1	0,30	1,52	0,01	0,30
010	1,50	0,00	0,99	1,04	0,00	0,90	1,43	0.70	0,97	1,55	0,02	0,90
019	1,40	0,69	0,98	1,51	0,57	0,96	1,47	0,70	0,96	1,52	0,52	0,98
820	1,48	0,90	0,98	1,50	0,80	0,98	1,50	0,81	0,99	1,56	0,61	0,99
821	1,48	0,79	0,98	1,50	0,66	0,98	1,50	0,70	0,99	1,52	0,60	0,99
822	1,48	0,94	0,98	1,49	0,83	0,97	1,48	0,91	0,98	1,55	0,65	0,98
823	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
824	1,47	1,17	0,98	1,51	0,90	0,97	1,47	1,06	0,98	1,55	0,77	0,98
825	1,47	0,88	0,98	1,48	0,77	0,98	1,49	0,82	0,98	1,52	0,67	0,98
826	1,50	0,88	0,99	1,54	0,71	0,98	1,48	0,93	0,98	1,54	0,71	0,98
827	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
828	1,50	0,97	0,98	1,52	0,85	0,97	1,45	1,20	0,97	1,55	0,74	0,97
829	1,45	1,05	0,97	1,52	0.69	0,97	1,50	0,75	0,99	1,54	0.62	0,99
830	1.47	0.87	0.98	1.51	0.70	0.98	1.49	0.75	0.99	1.54	0.58	0.99
831	1 47	0.93	0,98	1 51	0 71	0.97	1 47	0.88	0,98	1.53	0.64	0.98
832	1 45	0,00	0.97	1 49	0.77	0.97	1 48	0,80	0.98	1 51	0.73	0.97
833	1 / 8	0,68	0,07	1,10	0.56	0,07	1,10	0,00	0,00	1,51	0,70	0,07
000	1,40	0,00	0,90	1,51	0,50	0,99	1,40	0,75	0,90	1,55	0,51	0,99
004	1,47	0,93	0,90	1,00	0,00	0,97	1,49	0,70	0,99	1,57	0,54	0,99
835	1,45	0,98	0,98	1,49	0,75	0,97	1,48	0,88	0,98	1,50	0,73	0,98
836	1,47	0,81	0,98	1,52	0,61	0,98	1,47	0,81	0,98	1,52	0,60	0,98
837	1,47	0,78	0,98	1,53	0,58	0,98	1,47	0,82	0,98	1,51	0,64	0,98
838	1,48	0,97	0,98	1,55	0,68	0,97	1,49	0,90	0,98	1,54	0,70	0,98
839	1,46	0,97	0,97	1,50	0,73	0,97	1,49	0,89	0,99	1,53	0,71	0,98
840	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
841	1,45	1,00	0,97	1,53	0,66	0,97	1,42	1,14	0,96	1,47	0,80	0,97
842	1,47	0,86	0,98	1,50	0,73	0,98	1,46	0,91	0,98	1,51	0,69	0,98
843	1,48	0,86	0,98	1,51	0,69	0,98	1,49	0,75	0,99	1,54	0,57	0,98
844	1,48	1,04	0,98	1,52	0,85	0,97	1,45	1,17	0,97	1,53	0,77	0,98
		-	-						-			-

845	1.46	0.91	0.98	1.49	0.73	0.98	1.48	0.82	0.98	1.51	0.66	0.98
846	1 44	1.06	0,98	1 47	0.81	0.96	1 46	1 00	0.98	1 53	0 70	0.97
8/7	1 / 0	0.71	0,00	1 53	0.55	0,00	1 / 8	0.74	0,00	1 51	0.59	0,07
010	1,40	0,71	0,30	1,50	0,33	0,33	1,+0	0,74	0,33	1,51	0,00	0,33
040	1,40	0,95	0,90	1,52	0,77	0,90	1,00	0,00	0,99	1,04	0,73	0,99
849	1,50	0,75	0,98	1,52	0,65	0,98	1,49	0,75	0,99	1,54	0,57	0,98
850	1,48	0,79	0,98	1,50	0,66	0,98	1,51	0,66	0,99	1,53	0,58	0,99
851	1,45	1,04	0,97	1,52	0,68	0,96	1,47	0,84	0,98	1,54	0,60	0,97
852	1,46	0,88	0,98	1,49	0,70	0,97	1,48	0,78	0,99	1,53	0,60	0,99
853	1,48	0,89	0,98	1,53	0,69	0,98	1,48	0,90	0,98	1,53	0,70	0,98
854	1,47	0,92	0,98	1,51	0,70	0,98	1,46	0,88	0,98	1,53	0,60	0,98
855	1,47	1,03	0,98	1,51	0,79	0,97	1,46	1,01	0,98	1,52	0,74	0,97
856	1,46	1,19	0,98	1,52	0,86	0,97	1,49	0,97	0,98	1,54	0,76	0,98
857	1,45	1,05	0,98	1,50	0,79	0,97	1,47	0,95	0,98	1,54	0,66	0,98
858	1,46	0,91	0,97	1,50	0,72	0,97	1,50	0,82	0,99	1,53	0,70	0,98
859	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0.93	0,98	1,56	0,57	0,97
860	1.49	1.04	0.98	1.51	0.90	0.96	1.45	1.22	0.97	1.55	0.78	0.97
861	1.47	0.92	0.98	1.51	0.72	0.98	1.46	0.93	0.98	1.50	0.73	0.98
862	1 49	1 04	0,98	1.52	0.89	0,96	1 48	1 02	0,99	1.53	0.80	0.98
863	1 48	0.91	0.98	1.52	0.72	0.98	1 49	0.87	0,00	1 53	0.69	0.98
864	1,40	0,01	0,00	1,52	0.71	0,00	1 /7	0,07	0,00	1,50	0,00	0,00
004	1,43	0,92	0,99	1,55	0,71	0,90	1,47	0,99	0,90	1,55	0,75	0,30
000	1,47	1.05	0,97	1,00	0,07	0,97	1,40	0,95	0,90	1,00	0,72	0,90
000	1,40	1,05	0,97	1,49	0,01	0,97	1,40	0,90	0,98	1,00	0,57	0,96
867	1,45	0,93	0,98	1,53	0,63	0,98	1,42	1,11	0,97	1,51	0,66	0,97
868	1,48	0,92	0,98	1,54	0,66	0,97	1,48	0,82	0,98	1,56	0,57	0,98
869	1,46	0,88	0,98	1,49	0,71	0,98	1,49	0,76	0,99	1,53	0,60	0,99
870	1,48	0,79	0,98	1,54	0,59	0,98	1,50	0,68	0,99	1,52	0,60	0,99
871	1,48	0,92	0,98	1,51	0,75	0,97	1,45	0,94	0,97	1,56	0,55	0,98
872	1,48	1,05	0,98	1,51	0,92	0,96	1,48	1,02	0,98	1,52	0,81	0,99
873	1,50	0,79	0,99	1,52	0,69	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,59	0,96
874	1,48	0,82	0,98	1,49	0,71	0,98	1,48	0,87	0,98	1,52	0,68	0,98
875	1,44	1,09	0,97	1,48	0,83	0,96	1,45	1,08	0,97	1,53	0,72	0,97
876	1,47	0,84	0,98	1,49	0,69	0,98	1,50	0,70	0,99	1,55	0,55	0,99
877	1,47	0,78	0,98	1,50	0,63	0,98	1,48	0,77	0,99	1,53	0,56	0,98
878	1,47	0,87	0,98	1,53	0,63	0,98	1,50	0,72	0,99	1,55	0,55	0,99
879	1,47	0,88	0,98	1,53	0,67	0,98	1,51	0,70	0,99	1,53	0,61	0,99
880	1,46	0,96	0,97	1,51	0,71	0,97	1,48	0,91	0,99	1,52	0,71	0,98
881	1,46	0,94	0,97	1,48	0,79	0,98	1,48	0,87	0,98	1,51	0,70	0,98
882	1,47	0,98	0,98	1,52	0,74	0,98	1,49	0,89	0,99	1,56	0,65	0,98
883	1,46	0.89	0,98	1,52	0.65	0,98	1,48	0.85	0,98	1,54	0,64	0,99
884	1,46	0,97	0,98	1,52	0,71	0,97	1,47	0,95	0,98	1,52	0,72	0,98
885	1.45	1.10	0.98	1.49	0.87	0.97	1.42	1.16	0.97	1.47	0.81	0.96
886	1.47	1.00	0.98	1.48	0.85	0.96	1.46	1.01	0.98	1.53	0.73	0.98
887	1.46	0.85	0.97	1.51	0.62	0.98	1.46	0.85	0.98	1.50	0.65	0.98
888	1 45	0.97	0.97	1.52	0.68	0,98	1 45	0,99	0.97	1.52	0.68	0.97
889	1 45	1.05	0.97	1.52	0,60	0.97	1,10	0.75	0,01	1 54	0.62	0,07
800	1,40	0.01	0,07	1,52	0,00	0,07	1,00	0,70	0,00	1,57	0,02	0,00
801	1,47	0,31	0,30	1,55	0,07	0,30	1,43	0,03	0,33	1,52	0,75	0,30
202	1,44	0,97	0,97	1,52	0,03	0,90	1,40	0,01	0,90	1,54	0,50	0,90
092	1,40	1.00	0,90	1,55	0,00	0,90	1,40	0,00	0,90	1,00	0,03	0,90
093	1,45	1,00	0,97	1,51	0,70	0,97	1,50	0,60	0,99	1,55	0,63	0,99
894	1,45	0,91	0,97	1,52	0,64	0,97	1,48	0,79	0,98	1,54	0,58	0,99
895	1,47	1,07	0,98	1,50	0,94	0,96	1,44	1,22	0,98	1,55	0,77	0,97
896	1,47	0,82	0,98	1,49	0,66	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,58	0,99
897	1,47	1,06	0,98	1,56	0,75	0,96	1,44	1,21	0,98	1,54	0,79	0,97
898	1,45	1,01	0,97	1,51	0,70	0,97	1,48	0,89	0,98	1,50	0,74	0,98
899	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
900	1,47	0,90	0,97	1,51	0,69	0,97	1,46	0,94	0,97	1,49	0,74	0,97
901	1,48	0,95	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99

902	1.46	0.97	0.97	1.52	0.71	0.98	1.47	0.89	0.98	1.56	0.58	0.98
903	1 49	0.82	0.99	1.52	0.69	0.98	1.50	0.75	0,99	1.56	0.56	0,99
904	1 47	0.87	0.98	1 55	0,60	0.98	1,50	0.67	0,00	1 54	0.57	0,00
005	1 / 8	0,07	0,00	1,00	0,00	0,00	1 / 8	0,07	0,00	1,54	0,07	0,00
006	1,40	0,04	0,30	1,40	0,02	0,30	1,40	0,31	0,30	1,54	0,72	0,30
900	1,45	0,91	0,90	1,40	0,70	0,97	1,40	0,00	0,97	1,04	0,50	0,90
907	1,40	0,90	0,97	1,50	0,71	0,96	1,49	0,70	0,96	1,50	0,69	0,96
908	1,48	0,74	0,98	1,51	0,60	0,99	1,45	0,88	0,98	1,54	0,54	0,98
909	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
910	1,50	0,99	0,98	1,53	0,86	0,97	1,48	1,07	0,98	1,57	0,73	0,98
911	1,45	0,97	0,97	1,54	0,61	0,97	1,50	0,80	0,99	1,54	0,66	0,98
912	1,47	1,00	0,98	1,49	0,84	0,97	1,49	0,86	0,98	1,55	0,66	0,98
913	1,49	0,97	0,98	1,53	0,78	0,97	1,45	1,11	0,98	1,58	0,63	0,98
914	1,45	1,05	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
915	1,48	0,75	0,98	1,52	0,59	0,99	1,45	0,89	0,97	1,49	0,66	0,98
916	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,45	0,99	0,97	1,51	0,69	0,97
917	1,46	0,94	0,98	1,51	0,70	0,97	1,48	0,89	0,98	1,52	0,71	0,98
918	1,46	0,96	0,97	1,54	0,64	0,97	1,49	0,84	0,99	1,55	0,65	0,98
919	1,45	1,05	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
920	1,48	1,08	0,98	1,51	0,89	0,97	1,48	1,02	0,98	1,56	0,74	0,98
921	1,49	0,88	0,98	1,53	0,70	0,97	1,49	0,82	0,98	1,54	0,62	0,98
922	1,45	0,93	0,98	1,55	0,57	0,98	1,40	1,21	0,96	1,47	0,78	0,96
923	1,47	0,98	0,98	1,50	0,82	0,98	1,48	0,89	0,98	1,55	0,66	0,98
924	1.49	1.04	0.98	1.56	0.75	0.97	1.47	1.05	0.98	1.56	0.74	0.98
925	1.46	0.95	0.97	1.53	0.65	0.98	1.47	0.94	0.98	1.55	0.65	0.98
926	1 44	0,96	0.97	1.55	0.57	0.98	1 40	1 22	0.96	1 47	0 79	0.96
927	1 48	0.94	0.98	1,50	0.80	0.97	1 46	0.95	0.98	1.57	0.56	0.98
928	1 47	0.98	0.98	1,50	0,69	0.97	1 48	0.94	0.98	1.54	0,00	0.98
929	1 49	0,00	0,00	1,61	0,00	0.97	1,10	0.85	0,00	1,51	0,70	0,00
920	1 /7	0,00	0,00	1,50	0,60	0,07	1,40	0,00	0,00	1,55	0,70	0,00
031	1 /7	1 1 2	0,30	1,52	0,03	0,30	1 / 2	1 32	0,33	1,50	0,00	0,33
032	1 / 8	0.81	0,30	1,52	0,00	0,30	1,42	0.02	0,37	1,52	0,01	0,37
902 022	1,40	0,01	0,90	1,52	0,04	0,90	1,40	0,92	0,90	1,50	0,07	0,90
933	1,47	0,07	0,90	1,51	0,70	0,90	1,49	1 00	0,99	1,04	0,50	0,99
934	1,49	0,09	0,99	1,52	0,75	0,90	1,40	0.90	0,90	1,04	0,00	0,90
935	1,47	0,94	0,97	1,51	0,72	0,97	1,51	0,80	0,99	1,53	0,70	0,99
936	1,48	1,03	0,98	1,51	0,85	0,97	1,48	0,89	0,99	1,52	0,72	0,98
937	1,44	1,02	0,97	1,49	0,71	0,97	1,50	0,73	0,99	1,54	0,59	0,99
938	1,46	1,20	0,98	1,52	0,87	0,97	1,46	1,15	0,97	1,51	0,85	0,97
939	1,46	0,99	0,97	1,53	0,71	0,97	1,47	0,87	0,98	1,51	0,70	0,97
940	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0,93	0,98	1,56	0,58	0,97
941	1,46	0,84	0,98	1,51	0,63	0,98	1,46	0,90	0,98	1,51	0,63	0,98
942	1,46	0,95	0,98	1,53	0,66	0,98	1,48	0,85	0,98	1,53	0,63	0,98
943	1,50	0,80	0,99	1,52	0,70	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,61	0,96
944	1,49	1,05	0,98	1,52	0,88	0,96	1,49	1,01	0,98	1,53	0,80	0,98
945	1,45	1,12	0,98	1,51	0,80	0,97	1,45	1,03	0,97	1,47	0,81	0,96
946	1,47	0,97	0,98	1,53	0,72	0,98	1,47	0,95	0,98	1,53	0,70	0,98
947	1,46	0,95	0,97	1,53	0,65	0,98	1,47	0,94	0,98	1,55	0,65	0,98
948	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
949	1,49	0,95	0,98	1,53	0,78	0,97	1,48	0,93	0,98	1,53	0,71	0,98
950	1,49	0,94	0,98	1,53	0,76	0,98	1,46	1,07	0,98	1,55	0,71	0,97
951	1,48	0,79	0,98	1,53	0,61	0,98	1,46	0,87	0,98	1,51	0,64	0,98
952	1,48	0,69	0,98	1,51	0,57	0,98	1,47	0,70	0,98	1,52	0,52	0,98
953	1,47	0,80	0,98	1,49	0,65	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,57	0,99
954	1,48	0,69	0,98	1,51	0,57	0,98	1,47	0,70	0,98	1,52	0,52	0,98
955	1,47	0,89	0,98	1,50	0,73	0,97	1,50	0,76	0,99	1,54	0,62	0,99
956	1,48	0,96	0,98	1,49	0,84	0,97	1,48	0,85	0,98	1,56	0,58	0,98
957	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
958	1,44	1,14	0,97	1,52	0,79	0,97	1,39	1,39	0,95	1,47	0,81	0,95

959	1.45	1.12	0.97	1.47	0.86	0.97	1.46	0.93	0.98	1.56	0.60	0.98
960	1.47	0.82	0.98	1.49	0.66	0.98	1.51	0.62	0.99	1.52	0.58	0.99
961	1.46	0.85	0.98	1.51	0.64	0.98	1.44	0.95	0.97	1.48	0.73	0.97
962	1.46	0.97	0.98	1.52	0.71	0.97	1.47	0.96	0.98	1.52	0.72	0.98
963	1.45	1.05	0.97	1.49	0.76	0.98	1.46	0.93	0.98	1.56	0.57	0.97
964	1 49	0.83	0.99	1.52	0.68	0,99	1 48	0.80	0,99	1.55	0.58	0.99
965	1 48	0.76	0.98	1.51	0,60	0,00	1 45	0.87	0.98	1,53	0.56	0.98
966	1,10	0.87	0,00	1,51	0,00	0,00	1,10	0,07	0,00	1,50	0,00	0,00
967	1 //	1 00	0,00	1,50	0,00	0,00	1,40	0,31	0,00	1,52	0,74	0,00
968	1,47	1,00	0,37	1,50	0,03	0,30	1,43	0,77	0,30	1,52	0,02	0,33
900	1,40	0.02	0,30	1,52	0,70	0,30	1,40	0,07	0,30	1,50	0,00	0,30
070	1,43	0,92	0,90	1,50	0,07	0,97	1,40	0,00	0,90	1,52	0,07	0,30
071	1,40	0,95	0,97	1,52	0,07	0,97	1,45	0,07	0,99	1,55	0,70	0,30
072	1,47	0,00	0,90	1,55	0,39	0,99	1,40	0,91	0,97	1,51	0,04	0,30
972	1,40	0,93	0,90	1,50	0,79	0,97	1,40	0,00	0,90	1,57	0,54	0,90
973	1,47	0,02	0,90	1,49	0,00	0,90	1,01	0,02	0,99	1,02	0,56	0,99
974 075	1,40	0,99	0,90	1,50	0,71	0,97	1,40	0,09	0,90	1,02	0,72	0,90
975	1,40	0,03	0,90	1,52	0,60	0,90	1,40	0,00	0,96	1,52	0,61	0,90
976	1,40	0,97	0,98	1,52	0,07	0,90	1,40	0,65	0,96	1,53	0,64	0,96
977	1,47	0,99	0,98	1,52	0,72	0,97	1,47	0,95	0,98	1,52	0,73	0,98
978	1,47	0,92	0,98	1,52	0,70	0,98	1,49	0,86	0,99	1,51	0,76	0,98
979	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
980	1,46	0,92	0,98	1,51	0,72	0,98	1,46	0,93	0,98	1,50	0,73	0,98
981	1,47	0,91	0,98	1,51	0,71	0,98	1,47	0,81	0,98	1,56	0,53	0,98
982	1,47	0,99	0,98	1,52	0,76	0,98	1,46	0,93	0,98	1,52	0,68	0,98
983	1,45	0,92	0,97	1,49	0,71	0,97	1,48	0,81	0,98	1,52	0,63	0,98
984	1,44	1,06	0,98	1,47	0,81	0,96	1,46	1,00	0,98	1,53	0,70	0,97
985	1,48	0,78	0,98	1,52	0,62	0,99	1,46	0,85	0,98	1,51	0,63	0,98
986	1,48	0,95	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99
987	1,48	0,80	0,98	1,52	0,66	0,98	1,50	0,72	0,99	1,54	0,58	0,99
988	1,48	0,79	0,98	1,49	0,69	0,98	1,51	0,64	0,99	1,53	0,56	0,99
989	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
990	1,45	0,90	0,98	1,49	0,70	0,97	1,48	0,78	0,99	1,53	0,61	0,99
991	1,47	0,97	0,98	1,54	0,70	0,97	1,47	0,97	0,98	1,53	0,72	0,98
992	1,47	0,92	0,98	1,51	0,70	0,98	1,46	0,88	0,98	1,53	0,60	0,98
993	1,47	1,03	0,98	1,51	0,79	0,97	1,46	1,01	0,98	1,52	0,75	0,97
994	1,47	1,16	0,98	1,52	0,89	0,96	1,48	1,06	0,98	1,53	0,82	0,98
995	1,45	1,05	0,98	1,50	0,79	0,97	1,47	0,95	0,98	1,54	0,66	0,98
996	1,46	0,94	0,97	1,52	0,67	0,98	1,51	0,79	0,99	1,54	0,68	0,98
997	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0,93	0,98	1,56	0,57	0,97
998	1,49	1,00	0,98	1,53	0,82	0,97	1,46	1,12	0,98	1,55	0,73	0,98
999	1,48	1,07	0,98	1,52	0,89	0,96	1,47	1,07	0,98	1,57	0,73	0,97
1000	1,48	0,90	0,98	1,50	0,76	0,98	1,49	0,86	0,98	1,53	0,70	0,98
1001	1,49	0,94	0,98	1,52	0,79	0,97	1,48	0,94	0,98	1,54	0,72	0,98
1002	1,47	0,96	0,97	1,56	0,65	0,97	1,49	0,92	0,98	1,53	0,74	0,98
1003	1,45	0,95	0,98	1,53	0,63	0,98	1,41	1,16	0,97	1,48	0,76	0,97
1004	1,45	1,04	0,97	1,52	0,69	0,97	1,47	0,84	0,98	1,54	0,60	0,97
1005	1,48	0,95	0,98	1,50	0,83	0,97	1,48	0,88	0,98	1,55	0,60	0,97
1006	1,44	0,94	0,97	1,49	0,70	0,97	1,48	0,80	0,98	1,53	0,59	0,99
1007	1.48	0.80	0.98	1.53	0.61	0.98	1.50	0.68	0.99	1.52	0.60	0.99
1008	1.47	0.95	0.98	1.51	0.79	0.97	1.44	1.05	0.97	1.55	0.59	0.97
1009	1.47	1.07	0.98	1.51	0.89	0.96	1.47	1.06	0.98	1.55	0.76	0.98
1010	1.45	0.91	0.97	1.48	0.72	0.98	1.49	0.77	0.98	1.51	0.68	0.98
1011	1.45	1.09	0.97	1.45	0.95	0.95	1.44	1.11	0.97	1.52	0.74	0.97
1012	1.45	0.93	0.98	1.54	0.60	0.98	1.50	0.71	0.99	1.55	0.56	0.99
1013	1.48	0.83	0.99	1.51	0.70	0.98	1.50	0.75	0.99	1.54	0.61	0,99
1014	1.46	0.96	0.98	1.51	0.73	0.97	1.48	0.90	0.98	1.50	0.75	0.98
1015	1,47	0.92	0.98	1.48	0.79	0.98	1.48	0.86	0.98	1.52	0.68	0.98
	.,	3,54	5,50	.,	3,.0	5,50	.,	3,30	2,00	.,	5,50	2,00

1016	1.48	0.95	0.98	1.51	0.77	0.98	1.49	0.87	0.98	1.56	0.63	0.98
1017	1.46	0.92	0.98	1.52	0.66	0.98	1.48	0.87	0.98	1.54	0.63	0.99
1018	1.46	0.97	0.98	1.52	0.71	0.97	1.47	0.95	0.98	1.52	0.73	0.98
1019	1.46	1.07	0.98	1.54	0.73	0.97	1.38	1.43	0.95	1.47	0.80	0.95
1020	1 47	0.79	0.98	1 49	0.67	0.98	1 48	0.74	0.99	1.55	0.53	0,99
1021	1 44	0.98	0.97	1,10	0.69	0.98	1 45	0.99	0.97	1.52	0.67	0.97
1027	1 / 5	1.05	0,07	1,51	0,00	0.97	1,10	0.75	0,07	1,02	0,67	0,07
1022	1,40	0.01	0,07	1,52	0,00	0,07	1,00	0,70	0,00	1,54	0,00	0,00
1020	1,77	0,01	0,30	1,52	0,00	0,30	1,40	0,00	0,33	1,55	0,75	0,33
1024	1,44	0,90	0,97	1,51	0,00	0,90	1,49	0,77	0,99	1,55	0,59	0,99
1020	1,40	0,94	0,97	1,52	0,00	0,97	1,50	0,02	0,99	1,04	0,00	0,99
1020	1,40	0,00	0,90	1,52	0,02	0,90	1,47	0,00	0,90	1,04	0,50	0,99
1027	1,40	1,05	0,98	1,50	0,92	0,96	1,40	1,10	0,98	1,57	0,73	0,97
1020	1,47	0,62	0,98	1,49	0,66	0,96	1,51	0,62	0,99	1,52	0,56	0,99
1029	1,45	1,00	0,97	1,53	0,66	0,97	1,42	1,15	0,96	1,47	0,80	0,97
1030	1,47	0,95	0,98	1,52	0,72	0,98	1,48	0,88	0,98	1,55	0,63	0,98
1031	1,46	0,89	0,98	1,50	0,68	0,98	1,49	0,74	0,98	1,53	0,57	0,99
1032	1,45	0,98	0,97	1,50	0,71	0,98	1,49	0,77	0,99	1,51	0,67	0,98
1033	1,47	0,80	0,98	1,53	0,58	0,99	1,43	0,98	0,97	1,50	0,65	0,98
1034	1,47	1,04	0,98	1,50	0,81	0,96	1,49	0,87	0,98	1,56	0,65	0,98
1035	1,48	0,99	0,98	1,52	0,80	0,97	1,46	1,11	0,98	1,56	0,71	0,98
1036	1,48	0,75	0,98	1,52	0,59	0,99	1,45	0,89	0,97	1,49	0,66	0,98
1037	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,45	0,99	0,97	1,51	0,69	0,97
1038	1,46	0,96	0,97	1,52	0,68	0,97	1,49	0,88	0,99	1,54	0,68	0,98
1039	1,47	1,10	0,98	1,51	0,89	0,96	1,48	1,06	0,98	1,55	0,76	0,98
1040	1,46	1,00	0,98	1,48	0,85	0,98	1,48	0,88	0,98	1,54	0,67	0,98
1041	1,46	0,89	0,98	1,47	0,78	0,97	1,48	0,79	0,98	1,52	0,64	0,98
1042	1,50	0,79	0,99	1,52	0,69	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,60	0,96
1043	1,45	1,10	0,98	1,52	0,79	0,97	1,38	1,44	0,95	1,48	0,77	0,96
1044	1,46	0,90	0,98	1,54	0,59	0,98	1,41	1,15	0,96	1,46	0,79	0,96
1045	1,48	0,94	0,98	1,51	0,76	0,97	1,45	0,96	0,97	1,57	0,55	0,98
1046	1,47	0,82	0,98	1,49	0,66	0,98	1,51	0,62	0,99	1,52	0,58	0,99
1047	1,46	0,93	0,98	1,50	0,72	0,98	1,49	0,88	0,99	1,54	0,67	0,98
1048	1.43	0.95	0.97	1.46	0.73	0.97	1.28	2.29	0.91	1.47	0.74	0.95
1049	1.46	0.96	0.98	1.53	0.66	0.98	1.48	0.85	0.98	1.53	0.62	0.98
1050	1.46	1.03	0.98	1.53	0.71	0.97	1.47	0.94	0.98	1.53	0.70	0.98
1051	1.48	0.90	0.98	1.53	0.69	0.98	1.49	0.85	0.99	1.51	0.75	0.99
1052	1 49	0.80	0.98	1.53	0.63	0,99	1 44	0.92	0.97	1.50	0.62	0.97
1053	1 45	1 00	0.97	1,53	0,66	0.97	1 42	1 15	0.96	1 47	0.80	0.97
1054	1,10	0.92	0,07	1,00	0,00	0.98	1.46	0.93	0,00	1,17	0,00	0,07
1055	1 / 8	0,84	0,00	1,51	0,72	0,00	1 /7	0,30	0,00	1,50	0,70	0,00
1056	1,40	0,04	0,30	1,51	0,00	0,30	1,47	0,70	0,30	1,55	0,00	0,30
1057	1,47	0,32	0,30	1,51	0,70	0,30	1,40	0,00	0,30	1,55	0,00	0,30
1057	1,40	1 10	0,97	1,51	0,03	0,90	1,40	0,09	0,97	1,54	0,37	0,90
1050	1,44	0.02	0,97	1,40	0,93	0,95	1,44	0.00	0,97	1,55	0,72	0,97
1009	1,47	0,02	0,90	1,51	0,05	0,90	1,40	0,90	0,90	1,52	0,03	0,90
1060	1,48	0,95	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99
1061	1,49	0,77	0,99	1,55	0,57	0,99	1,50	0,70	0,99	1,53	0,59	0,99
1062	1,48	0,79	0,98	1,49	0,70	0,98	1,51	0,64	0,99	1,53	0,56	0,99
1063	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
1064	1,45	0,91	0,98	1,49	0,69	0,97	1,48	0,78	0,99	1,53	0,61	0,99
1065	1,46	1,07	0,98	1,53	0,76	0,97	1,47	0,99	0,98	1,54	0,72	0,98
1066	1,47	0,99	0,98	1,53	0,71	0,98	1,47	0,93	0,98	1,54	0,69	0,98
1067	1,47	1,02	0,98	1,51	0,81	0,97	1,47	1,03	0,98	1,50	0,84	0,97
1068	1,48	1,11	0,98	1,53	0,85	0,97	1,48	1,06	0,98	1,56	0,75	0,98
1069	1,46	1,03	0,98	1,51	0,79	0,97	1,46	0,98	0,98	1,53	0,70	0,98
1070	1,46	0,95	0,97	1,53	0,65	0,98	1,47	0,94	0,98	1,55	0,65	0,98
1071	1,45	1,05	0,97	1,49	0,76	0,98	1,46	0,93	0,98	1,56	0,57	0,97
1072	1,50	0,98	0,98	1,53	0,82	0,97	1,47	1,06	0,98	1,55	0,74	0,98
1073	1,48	1,06	0,98	1,50	0,95	0,96	1,46	1,12	0,98	1,56	0,74	0,97
------	--------------	------	------	------	------	------	-------	------	------	------	------	------
1074	1.45	1.01	0.98	1.51	0.71	0.97	1.46	0.95	0.97	1.51	0.70	0.98
1075	1.49	0.95	0.98	1.53	0.80	0.97	1.48	0.96	0.98	1.53	0.77	0.98
1076	1.48	1.06	0.98	1.51	0.90	0.97	1.48	1.05	0.98	1.54	0.80	0.98
1077	1 47	0.96	0.97	1.56	0.65	0.97	1 49	0.90	0.99	1.52	0.75	0.98
1078	1 45	1 00	0.97	1,50	0.72	0.96	1 48	0.76	0.98	1.54	0.58	0.98
1070	1,10	0.96	0,07	1,00	0.83	0.07	1,10	0,70	0,00	1,51	0,00	0,00
1080	1,40	0,00	0,00	1,50	0,00	0,07	1 /7	0,52	0,00	1,50	0,00	0,07
1000	1,40	0,09	0,90	1,52	0,02	0,90	1,47	0,01	0,90	1,55	0,57	0,99
1001	1,40	0,79	0,90	1,52	0,02	0,90	1,49	0,71	0,99	1,00	0,57	0,99
1002	1,47	1,07	0,98	1,52	0,87	0,96	1,40	1,12	0,98	1,52	0,63	0,97
1083	1,50	0,79	0,99	1,52	0,69	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,59	0,96
1084	1,45	0,91	0,97	1,48	0,72	0,98	1,49	0,78	0,98	1,51	0,68	0,98
1085	1,45	1,08	0,98	1,48	0,88	0,95	1,46	1,01	0,98	1,52	0,74	0,97
1086	1,46	0,98	0,98	1,49	0,76	0,97	1,48	0,88	0,98	1,52	0,70	0,98
1087	1,46	1,01	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
1088	1,44	0,98	0,97	1,52	0,66	0,98	1,45	0,98	0,97	1,52	0,67	0,97
1089	1,43	1,14	0,97	1,52	0,73	0,97	1,50	0,79	0,99	1,54	0,64	0,99
1090	1,46	0,94	0,98	1,51	0,71	0,98	1,50	0,85	0,99	1,53	0,72	0,99
1091	1,46	0,89	0,98	1,49	0,71	0,97	1,50	0,74	0,99	1,53	0,60	0,99
1092	1,45	0,97	0,97	1,54	0,64	0,97	1,50	0,83	0,99	1,56	0,63	0,98
1093	1,45	0,89	0,98	1,51	0,63	0,97	1,47	0,80	0,98	1,54	0,55	0,99
1094	1,48	1,05	0,98	1,49	0,97	0,96	1,46	1,11	0,98	1,56	0,73	0,97
1095	1,46	1,04	0,98	1,50	0,82	0,96	1,49	0,87	0,98	1,56	0,63	0,98
1096	1.45	0.91	0.98	1.54	0.57	0.98	1.40	1.21	0.96	1.47	0.77	0.96
1097	1.47	0.80	0.98	1.50	0.63	0.98	1.50	0.64	0.99	1.53	0.55	0.99
1098	1 47	0.87	0.98	1,50	0.72	0.98	1 48	0.84	0.98	1.50	0.72	0.98
1000	1,17	0,07	0,00	1 /0	0.65	0,00	1 / 1	1 18	0,00	1,00	0,66	0,00
1100	1,44	0,91	0,37	1,73	0,00	0,30	1 / 8	0.85	0,30	1,50	0,00	0,37
1100	1,40	1 01	0,90	1,55	0,00	0,90	1,40	0,00	0,90	1,55	0,03	0,30
1101	1,40	0.00	0,90	1,52	0,75	0,97	1,40	1.24	0,90	1,52	0,73	0,90
1102	1,49	0,62	0,99	1,55	0,00	0,96	1,40	1,31	0,96	1,50	0,79	0,97
1103	1,49	0,80	0,98	1,53	0,63	0,99	1,44	0,92	0,97	1,50	0,62	0,97
1104	1,45	1,00	0,97	1,53	0,66	0,97	1,42	1,15	0,96	1,47	0,80	0,97
1105	1,47	0,92	0,98	1,51	0,72	0,98	1,46	0,93	0,98	1,50	0,73	0,98
1106	1,47	0,83	0,98	1,52	0,65	0,98	1,48	0,74	0,99	1,55	0,54	0,99
1107	1,47	0,92	0,98	1,51	0,70	0,98	1,46	0,88	0,98	1,53	0,60	0,98
1108	1,45	0,90	0,98	1,53	0,60	0,98	1,48	0,79	0,98	1,54	0,55	0,99
1109	1,48	0,81	0,98	1,51	0,64	0,98	1,45	0,91	0,98	1,51	0,66	0,98
1110	1,48	0,95	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99
1111	1,47	0,87	0,98	1,55	0,60	0,98	1,51	0,67	0,99	1,54	0,57	0,99
1112	1,47	0,82	0,98	1,48	0,70	0,98	1,50	0,67	0,99	1,53	0,56	0,99
1113	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
1114	1,46	0,87	0,97	1,49	0,68	0,97	1,48	0,78	0,99	1,54	0,58	0,99
1115	1,47	1,06	0,98	1,53	0,77	0,97	1,47	1,01	0,98	1,54	0,74	0,98
1116	1,48	0,93	0,98	1,53	0,70	0,98	1,47	0,96	0,98	1,54	0,69	0,98
1117	1.49	0.98	0.98	1.51	0.83	0.98	1.47	1.05	0.98	1.54	0.74	0.97
1118	1.48	1.07	0.98	1.52	0.87	0.97	1.48	1.05	0.98	1.56	0.74	0.98
1119	1 49	0.89	0.99	1.52	0.75	0.98	1 46	1 00	0.98	1.54	0.68	0.98
1120	1,10	0.95	0.97	1 53	0.65	0.98	1 47	0.94	0.98	1 55	0.65	0.98
1120	1,40	1.05	0,07	1,00	0,00	0,00	1.46	0,04	0,00	1,50	0,00	0,00
1120	1 /6	0.00	0,97	1,73	0,70	0,30	1 /6	0,95	0,50	1,50	0,57	0,97
1122	1 /0	1.04	0,97	1,52	0,00	0,97	1,40	0,92	0,50	1,52	0,07	0,90
1123	1,48 1 47	1,04	0,98	1,50	0,92	0,96	1,47	1,10	0,98	1,50	0,75	0,97
1124	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,45	0,99	0,97	1,51	0,69	0,97
1125	1,49	0,98	0,98	1,53	0,80	0,97	1,48	0,96	0,99	1,54	0,73	0,98
1126	1,48	1,06	0,98	1,51	0,87	0,96	1,48	1,05	0,98	1,55	0,78	0,98
1127	1,47	1,01	0,98	1,56	0,68	0,97	1,49	0,89	0,99	1,53	0,73	0,98
1128	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
1129	1,47	0,98	0,98	1,51	0,80	0,97	1,44	1,05	0,97	1,54	0,61	0,97

1130	1,45	0,88	0,98	1,53	0,59	0,98	1,47	0,82	0,98	1,53	0,57	0,99
1131	1,48	0,79	0,98	1,52	0,64	0,98	1,49	0,72	0,99	1,53	0,59	0,99
1132	1,50	0,79	0,99	1,52	0,69	0,98	1,51	0,74	0,99	1,57	0,60	0,96
1133	1,47	0,88	0,98	1,51	0,69	0,97	1,48	0,85	0,98	1,53	0,66	0,98
1134	1,46	1,03	0,98	1,54	0,73	0,96	1,47	0,98	0,98	1,52	0,73	0,97
1135	1,46	1,01	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
1136	1,45	1,09	0,97	1,50	0,82	0,97	1,49	0,84	0,99	1,55	0,63	0,99
1137	1,45	0,90	0,98	1,52	0,62	0,97	1,48	0,77	0,98	1,54	0,55	0,99
1138	1,48	0,99	0,98	1,53	0,76	0,97	1,48	0,91	0,98	1,55	0,67	0,98
1139	1.45	0.92	0.98	1.54	0.59	0.98	1.40	1.21	0.96	1.47	0.77	0.96
1140	1.47	0.96	0.98	1.50	0.81	0.97	1.44	1.05	0.97	1.55	0.59	0.97
1141	1.48	0.72	0.98	1.51	0.59	0.98	1.49	0.66	0.99	1.53	0.53	0.99
1142	1.46	0.90	0.98	1.54	0.61	0.98	1.48	0.83	0.98	1.52	0.65	0.98
1143	1 48	0.73	0,98	1 51	0.58	0.98	1 49	0,00	0.99	1.54	0.53	0.98
1144	1,10	0.97	0,98	1,51	0,00	0,97	1 47	0.88	0.98	1,51	0.67	0.98
1145	1,10	1 02	0.98	1.56	0.65	0.97	1 48	0,00	0.99	1.52	0.76	0.98
1146	1,17	0.77	0,00	1,50	0,68	0.98	1,10	0,02	0,00	1,52	0,70	0,00
11/7	1,00	0,77	0,00	1,50	0,00	0,00	1 1/	0,70	0,00	1,50	0,00	0,00
11/18	1,45	0,00	0,50	1,50	0,00	0,00	1 / 8	0,02	0,07	1,50	0,02	0,07
11/0	1,47	0,33	0,37	1,50	0,73	0,37	1,40	0,03	0,30	1,50	0,70	0,30
1149	1,47	0,30	0,30	1,50	0,74	0,90	1,40	0,94	0,90	1,51	0,71	0,90
1150	1,47	0,03	0,90	1,52	0,04	0,90	1,40	0,75	0,99	1,55	0,52	0,99
1151	1,40	0,09	0,90	1,52	0,73	0,90	1,40	0,00	0,90	1,55	0,00	0,99
1152	1,40	0,90	0,90	1,51	0,03	0,97	1,40	0,77	0,90	1,04	0,50	0,99
1155	1,40	1,00	0,90	1,00	0,71	0,96	1,47	0,90	0,98	1,52	0,74	0,97
1104	1,40	0,76	0,98	1,52	0,62	0,96	1,44	1,01	0,97	1,40	0,73	0,96
1155	1,48	0,95	0,98	1,52	0,77	0,98	1,50	0,86	0,99	1,54	0,73	0,99
1156	1,47	0,87	0,98	1,55	0,60	0,98	1,51	0,67	0,99	1,54	0,57	0,99
1157	1,47	0,82	0,98	1,49	0,69	0,98	1,50	0,67	0,99	1,53	0,55	0,99
1158	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
1159	1,45	0,87	0,97	1,51	0,64	0,98	1,47	0,81	0,98	1,53	0,60	0,98
1160	1,47	1,04	0,98	1,48	0,92	0,96	1,46	1,09	0,98	1,56	0,70	0,98
1161	1,48	0,90	0,99	1,53	0,69	0,98	1,45	1,03	0,98	1,52	0,72	0,97
1162	1,48	0,96	0,98	1,52	0,78	0,98	1,45	1,13	0,98	1,52	0,80	0,97
1163	1,49	0,92	0,98	1,53	0,77	0,97	1,45	1,10	0,98	1,56	0,65	0,97
1164	1,49	0,89	0,99	1,52	0,75	0,98	1,46	1,00	0,98	1,54	0,68	0,98
1165	1,46	0,95	0,97	1,53	0,65	0,98	1,47	0,94	0,98	1,55	0,65	0,98
1166	1,45	1,08	0,98	1,47	0,87	0,97	1,46	0,93	0,98	1,55	0,62	0,98
1167	1,45	0,97	0,97	1,50	0,72	0,98	1,45	0,97	0,97	1,51	0,68	0,97
1168	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,45	0,99	0,97	1,51	0,69	0,97
1169	1,47	1,07	0,98	1,51	0,88	0,96	1,46	1,11	0,98	1,54	0,79	0,98
1170	1,46	1,09	0,98	1,54	0,76	0,97	1,49	0,96	0,98	1,55	0,73	0,98
1171	1,46	1,06	0,98	1,50	0,79	0,97	1,47	0,90	0,98	1,55	0,63	0,98
1172	1,45	1,00	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,76	0,98	1,54	0,58	0,98
1173	1,45	0,89	0,97	1,53	0,59	0,98	1,41	1,12	0,97	1,50	0,65	0,97
1174	1,48	0,84	0,98	1,52	0,67	0,98	1,50	0,73	0,99	1,53	0,61	0,99
1175	1,45	0,98	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,86	0,98	1,51	0,70	0,98
1176	1,45	0,94	0,98	1,54	0,59	0,98	1,40	1,21	0,96	1,47	0,79	0,96
1177	1,46	1,02	0,98	1,51	0,80	0,97	1,42	1,15	0,96	1,55	0,61	0,97
1178	1,48	0,69	0,98	1,51	0,57	0,98	1,47	0,70	0,98	1,52	0,52	0,98
1179	1,46	0,92	0,98	1,54	0,63	0,98	1,48	0,83	0,98	1,51	0,66	0,98
1180	1,47	0,78	0,98	1,50	0,63	0,98	1,48	0,76	0,99	1,53	0,57	0,98
1181	1,46	0,98	0,98	1,55	0,62	0,98	1,47	0,89	0,98	1,53	0,65	0,98
1182	1,47	1,02	0,98	1,57	0,65	0,97	1,49	0,89	0,99	1,51	0,79	0,98
1183	1,50	0,77	0,99	1,53	0,67	0,98	1,51	0,73	0,99	1,57	0,59	0,96
1184	1,49	0,84	0,98	1,52	0,71	0,98	1,47	0,84	0,98	1,54	0,58	0,98
1185	1,46	0,94	0,98	1,52	0,68	0,97	1,47	0,90	0,98	1,52	0,70	0,98
1186	1,47	0,90	0,98	1,48	0,79	0,97	1,48	0,87	0,98	1,51	0,69	0,98
							•					

1187	1,48	0.83	0,98	1,53	0.63	0,98	1,49	0,73	0,99	1,54	0,54	0,99
1188	1.48	0.95	0.98	1.48	0.84	0.98	1.48	0.88	0.98	1.56	0.62	0.98
1189	1.45	0.90	0.98	1.51	0.63	0.97	1.48	0.78	0.98	1.54	0.56	0.99
1190	1.45	1.06	0.98	1.53	0.74	0.96	1.48	0.86	0.98	1.52	0.70	0.98
1191	1 48	0.75	0.98	1.52	0.59	0,99	1 45	0.89	0.97	1 49	0.66	0.98
1192	1 48	0.95	0.98	1.52	0.77	0.98	1,10	0.86	0.99	1 54	0.73	0,00
1102	1,10	0,00	0,00	1,55	0,60	0,00	1,00	0,00	0,00	1,01	0.57	0,00
110/	1 /7	0,07	0,00	1,00	0,00	0,00	1,51	0,67	0,00	1,54	0,56	0,00
1105	1,45	1.00	0,30	1,40	0,03	0,30	1,01	0,00	0,33	1,55	0,50	0,33
1100	1,40	0.00	0,97	1,50	0,72	0,90	1,40	0,70	0,90	1,54	0,30	0,90
1190	1,47	0,00	0,90	1,52	0,00	0,90	1,40	0,71	0,99	1,57	0,40	0,99
1197	1,47	0,95	0,90	1,50	0,79	0,97	1,47	0,97	0,90	1,51	0,77	0,97
1190	1,40	0,95	0,96	1,55	0,74	0,96	1,40	0,90	0,98	1,50	0,80	0,96
1199	1,40	0,96	0,96	1,52	0,76	0,96	1,40	1,14	0,98	1,52	0,60	0,97
1200	1,49	0,89	0,99	1,52	0,75	0,98	1,46	1,00	0,98	1,54	0,68	0,98
1201	1,46	0,95	0,97	1,53	0,65	0,98	1,47	0,94	0,98	1,55	0,65	0,98
1202	1,45	0,97	0,97	1,49	0,73	0,97	1,47	0,88	0,98	1,52	0,65	0,97
1203	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,45	0,99	0,97	1,51	0,69	0,97
1204	1,47	1,06	0,98	1,55	0,75	0,96	1,46	1,11	0,98	1,53	0,83	0,97
1205	1,48	0,99	0,98	1,50	0,82	0,96	1,49	0,88	0,99	1,52	0,72	0,98
1206	1,43	1,00	0,97	1,53	0,57	0,97	1,34	1,61	0,91	1,48	0,69	0,95
1207	1,44	0,96	0,97	1,54	0,58	0,98	1,40	1,22	0,96	1,47	0,79	0,96
1208	1,45	1,11	0,98	1,54	0,73	0,97	1,38	1,45	0,95	1,47	0,80	0,95
1209	1,48	0,69	0,98	1,51	0,57	0,98	1,47	0,70	0,98	1,52	0,52	0,98
1210	1,46	0,96	0,98	1,53	0,66	0,98	1,48	0,85	0,98	1,53	0,63	0,98
1211	1,47	0,80	0,98	1,51	0,61	0,97	1,48	0,74	0,99	1,54	0,55	0,98
1212	1,47	0,87	0,98	1,50	0,71	0,97	1,46	0,92	0,98	1,53	0,64	0,97
1213	1,47	1,05	0,98	1,51	0,82	0,96	1,48	0,91	0,99	1,53	0,71	0,98
1214	1,50	0,77	0,99	1,53	0,68	0,98	1,51	0,73	0,99	1,58	0,58	0,96
1215	1,49	0,84	0,98	1,53	0,69	0,98	1,48	0,82	0,98	1,55	0,58	0,99
1216	1,45	0,98	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,86	0,98	1,51	0,70	0,98
1217	1,46	0,94	0,98	1,49	0,76	0,97	1,48	0,84	0,98	1,52	0,66	0,98
1218	1,48	0.83	0,98	1,53	0.63	0,98	1,49	0,74	0,99	1,54	0,55	0,99
1219	1.48	0.89	0.98	1.51	0.75	0.97	1.48	0.90	0.98	1.54	0.68	0.98
1220	1.45	0.87	0.98	1.50	0.63	0.97	1.48	0.76	0.98	1.54	0.55	0.99
1221	1.45	1.07	0.98	1.53	0.74	0.96	1.48	0.86	0.98	1.52	0.70	0.98
1222	1.48	0.75	0.98	1.52	0.59	0.99	1.45	0.89	0.97	1.49	0.66	0.98
1223	1 48	1 01	0.98	1.52	0.81	0.98	1 49	0.86	0.99	1.53	0 71	0,99
1224	1 47	0.87	0.98	1.55	0,60	0.98	1,10	0.67	0.99	1 54	0.57	0,00
1224	1 /7	0,07	0,00	1,50	0,00	0,00	1,51	0,67	0,00	1,54	0,58	0,00
1220	1,46	0,01	0,30	1,50	0,00	0,30	1,00	0,07	0,33	1,55	0,50	0,33
1220	1,40	0,90	0,90	1,52	0,71	0,97	1,40	0,02	0,90	1,55	0,01	0,90
1221	1,47	0,00	0,90	1,52	0,00	0,90	1,40	0,71	0,99	1,57	0,40	0,99
1220	1,47	0,94	0,90	1,40	0,04	0,97	1,47	0,90	0,90	1,55	0,75	0,97
1229	1,40	0,90	0,90	1,04	0,73	0,90	1,40	0,90	0,90	1,50	0,04	0,97
1230	1,49	0,95	0,90	1,51	0,01	0,90	1,40	1,09	0,90	1,55	0,70	0,97
1231	1,40	0,95	0,97	1,52	0,67	0,97	1,48	0,90	0,99	1,54	0,68	0,98
1232	1,49	0,84	0,98	1,51	0,71	0,98	1,47	0,91	0,98	1,53	0,67	0,98
1233	1,48	1,01	0,98	1,50	0,84	0,96	1,49	0,89	0,99	1,52	0,74	0,98
1234	1,43	1,01	0,97	1,53	0,62	0,98	1,43	1,05	0,97	1,48	0,76	0,97
1235	1,45	1,05	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
1236	1,48	0,79	0,98	1,52	0,63	0,98	1,49	0,71	0,99	1,53	0,59	0,99
1237	1,47	0,92	0,98	1,52	0,69	0,98	1,48	0,86	0,98	1,53	0,65	0,98
1238	1,46	0,82	0,98	1,50	0,65	0,98	1,48	0,73	0,99	1,56	0,52	0,99
1239	1,47	0,87	0,98	1,50	0,71	0,97	1,46	0,92	0,98	1,53	0,64	0,97
1240	1,47	1,06	0,98	1,51	0,83	0,96	1,48	0,92	0,99	1,54	0,70	0,98
1241	1,50	0,77	0,99	1,53	0,67	0,98	1,51	0,73	0,99	1,58	0,58	0,97
1242	1,49	0,87	0,98	1,51	0,75	0,97	1,49	0,80	0,99	1,56	0,58	0,99
1243	1,45	0,98	0,97	1,50	0,72	0,96	1,48	0,86	0,98	1,51	0,70	0,98

1011	4 40	0.00	0.00	4 40	0.00	0.07	4 40	0.00	0.00	4 50	0.07	0.00
1244	1,46	0,93	0,98	1,46	0,82	0,97	1,48	0,83	0,98	1,52	0,67	0,98
1245	1,48	0,83	0,98	1,52	0,65	0,98	1,48	0,75	0,99	1,54	0,55	0,99
1246	1,48	0,89	0,98	1,51	0,75	0,97	1,48	0,90	0,98	1,54	0,68	0,98
1247	1,45	0,90	0,97	1,52	0,62	0,98	1,48	0,76	0,98	1,54	0,54	0,99
1248	1,45	1,09	0,98	1,53	0,74	0,96	1,48	0,86	0,98	1,52	0,70	0,98
1249	1,48	0,75	0,98	1,52	0,59	0,99	1,45	0,89	0,97	1,49	0,66	0,98
1250	1.49	0.95	0.98	1.54	0.75	0.97	1.49	0.82	0.98	1.52	0.69	0.98
1251	1 47	0,89	0.98	1.53	0,66	0.98	1.51	0.72	0.99	1.54	0.62	0,99
1252	1 / 8	0.81	0,00	1,50	0,67	0.08	1,50	0.68	0,00	1 53	0.58	0,00
1252	1,40	0,01	0,30	1,50	0,07	0,30	1,00	0,00	0,33	1,55	0,50	0,33
1200	1,40	0,90	0,90	1,52	0,71	0,97	1,40	0,02	0,90	1,55	0,01	0,90
1254	1,47	0,80	0,98	1,52	0,60	0,98	1,48	0,71	0,99	1,57	0,47	0,99
1255	1,48	0,95	0,98	1,50	0,83	0,98	1,47	0,99	0,98	1,51	0,79	0,98
1256	1,48	0,90	0,98	1,52	0,71	0,98	1,47	0,92	0,98	1,53	0,69	0,98
1257	1,45	1,05	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
1258	1,48	0,85	0,98	1,51	0,69	0,98	1,50	0,74	0,99	1,53	0,61	0,99
1259	1,46	0,97	0,98	1,51	0,73	0,97	1,48	0,86	0,98	1,53	0,65	0,98
1260	1,47	0,82	0,98	1,50	0,67	0,98	1,49	0,73	0,99	1,56	0,52	0,99
1261	1,47	0,87	0,98	1,50	0,71	0,97	1,46	0,92	0,98	1,53	0,64	0,97
1262	1.47	1.06	0.98	1.50	0.85	0.96	1.48	0.91	0.99	1.53	0.72	0.98
1263	1 49	0.88	0.98	1 51	0.75	0.97	1 49	0.82	0.99	1.56	0.59	0,00
1260	1,10	0,00	0,00	1.52	0,10	0.06	1,10	0.81	0,00	1,50	0,00	0.08
1204	1,40	0,99	0,97	1,02	0,07	0,30	1,30	0,01	0,90	1,52	0,09	0,30
1200	1,40	0,91	0,90	1,49	0,75	0,97	1,40	0,00	0,90	1,01	0,00	0,90
1266	1,49	0,81	0,98	1,53	0,65	0,99	1,46	0,86	0,98	1,52	0,60	0,98
1267	1,48	0,89	0,98	1,51	0,75	0,97	1,48	0,90	0,98	1,54	0,68	0,98
1268	1,45	0,89	0,97	1,53	0,59	0,98	1,47	0,81	0,98	1,53	0,57	0,99
1269	1,47	1,06	0,98	1,54	0,78	0,97	1,49	0,92	0,98	1,53	0,75	0,98
1270	1,45	0,91	0,98	1,52	0,62	0,98	1,43	1,05	0,97	1,50	0,69	0,97
1271	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
1272	1,48	0,82	0,99	1,51	0,69	0,98	1,50	0,75	0,99	1,55	0,60	0,99
1273	1.48	0.82	0.98	1.51	0.66	0.98	1.50	0.68	0.99	1.53	0.59	0.99
1274	1.49	0.91	0.98	1.55	0.68	0.97	1.48	0.88	0.98	1.52	0.68	0.98
1275	1 47	0.80	0.98	1.52	0,60	0.98	1 48	0.71	0.99	1.57	0.47	0,99
1276	1 / 8	0,00	0,00	1.52	0.78	0,00	1,10	1 1 3	0,00	1,57	0,17	0,00
1270	1,40	0,30	0,30	1,52	0,70	0,30	1,45	1,10	0,30	1,52	0,00	0,37
1277	1,49	0,02	0,99	1,52	0,09	0,90	1,40	1,04	0,90	1,00	0,70	0,90
1278	1,45	1,05	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
1279	1,45	1,02	0,98	1,54	0,65	0,98	1,47	0,91	0,98	1,52	0,68	0,98
1280	1,47	0,83	0,98	1,49	0,69	0,97	1,50	0,71	0,99	1,56	0,54	0,99
1281	1,47	0,90	0,98	1,49	0,77	0,97	1,46	0,95	0,98	1,51	0,72	0,98
1282	1,47	1,04	0,98	1,48	0,91	0,96	1,48	0,91	0,98	1,53	0,71	0,98
1283	1,50	0,77	0,99	1,53	0,67	0,98	1,51	0,74	0,99	1,58	0,58	0,97
1284	1,49	0,88	0,98	1,53	0,70	0,98	1,49	0,80	0,99	1,55	0,61	0,99
1285	1,45	0,99	0,97	1,52	0,68	0,96	1,48	0,88	0,98	1,52	0,69	0,98
1286	1,46	0,89	0,97	1,50	0,66	0.98	1,48	0.80	0,98	1,50	0,66	0,98
1287	1.48	0.83	0.99	1.52	0.65	0.98	1.49	0.73	0.99	1.54	0.59	0.99
1288	1 47	1 01	0.98	1 53	0.73	0.98	1 49	0.87	0.98	1 55	0.68	0.98
1280	1 /5	0.01	0,00	1,50	0,70	0,00	1 /7	0,07	0,00	1,50	0,00	0,00
1209	1,40	1.00	0,97	1,55	0,01	0,90	1,47	1.01	0,90	1,04	0,37	0,99
1290	1,40	1,00	0,90	1,55	0,00	0,97	1,49	1,01	0,90	1,04	0,77	0,90
1291	1,44	0,98	0,97	1,52	0,65	0,98	1,43	1,08	0,97	1,48	0,75	0,97
1292	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
1293	1,48	0,82	0,99	1,51	0,69	0,98	1,50	0,76	0,99	1,54	0,61	0,99
1294	1,48	0,81	0,98	1,52	0,64	0,98	1,50	0,70	0,99	1,52	0,60	0,99
1295	1,49	0,94	0,98	1,53	0,75	0,97	1,47	0,95	0,98	1,52	0,71	0,98
1296	1,43	1,01	0,97	1,51	0,66	0,97	1,43	1,10	0,97	1,50	0,72	0,97
1297	1,46	1,00	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
1298	1,45	1,00	0,98	1,49	0,76	0,97	1,47	0,92	0,98	1,53	0,64	0.98
1299	1.47	0.80	0.98	1.51	0.65	0.98	1.50	0.68	0.99	1.56	0.51	0.99
1300	1.47	0.96	0.98	1.46	0.88	0.96	1.47	0.95	0.98	1.52	0.74	0.98
	,	-,	-,	,	-,	-,	,	-,	-,	,	-,	-,

1301	1,47	1,03	0,97	1,51	0,83	0,96	1,48	0,91	0,98	1,52	0,72	0,98
1302	1,49	0,84	0,99	1,53	0,67	0,98	1,45	1,01	0,98	1,53	0,69	0,98
1303	1,49	0,87	0,98	1,52	0,72	0,97	1,49	0,82	0,98	1,54	0,64	0,98
1304	1,46	0,93	0,98	1,51	0,69	0,97	1,50	0,82	0,98	1,55	0,63	0,98
1305	1,47	0,86	0,98	1,49	0,71	0,97	1,48	0,79	0,98	1,50	0,67	0,98
1306	1,48	0,84	0,98	1,53	0,64	0,99	1,47	0,84	0,98	1,53	0,59	0,98
1307	1.47	1.01	0.98	1.51	0.79	0.98	1.48	0.91	0.98	1.54	0.70	0.98
1308	1 43	1 00	0.97	1.53	0.57	0.97	1.34	1 61	0.91	1 48	0.69	0.95
1300	1,10	1,00	0,07	1,00	0,07	0.07	1 / 8	1,01	0,01	1,10	0.82	0,00
1210	1,40	0.05	0,30	1,50	0,52	0,37	1,40	0.92	0,30	1,52	0,02	0,30
1010	1,49	0,95	0,90	1,04	0,75	0,97	1,49	0,02	0,90	1,52	0,09	0,90
1311	1,40	0,61	0,98	1,49	0,72	0,96	1,49	0,75	0,99	1,55	0,62	0,99
1312	1,49	0,93	0,98	1,52	0,76	0,96	1,47	0,95	0,98	1,51	0,75	0,98
1313	1,45	0,89	0,98	1,52	0,62	0,98	1,45	0,95	0,98	1,53	0,63	0,97
1314	1,46	1,00	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
1315	1,46	0,96	0,98	1,48	0,79	0,97	1,46	0,94	0,98	1,51	0,69	0,98
1316	1,46	0,87	0,98	1,51	0,65	0,97	1,50	0,70	0,99	1,55	0,55	0,99
1317	1,48	0,94	0,98	1,49	0,82	0,96	1,48	0,90	0,98	1,54	0,72	0,96
1318	1,48	1,00	0,97	1,53	0,75	0,97	1,48	0,88	0,99	1,53	0,69	0,98
1319	1,48	0,94	0,98	1,51	0,78	0,97	1,47	0,98	0,98	1,54	0,72	0,98
1320	1,49	0,88	0,98	1,51	0,75	0,97	1,49	0,83	0,99	1,54	0,63	0,98
1321	1.45	0.90	0.97	1.50	0.65	0.97	1.45	0.86	0.97	1.47	0.69	0.97
1322	1.48	0.83	0.98	1.51	0.71	0.99	1.49	0.78	0.99	1.53	0.61	0.99
1323	1 45	1.06	0.97	1,50	0.79	0.97	1.50	0.82	0,99	1.53	0.69	0,99
1324	1 44	0.95	0.97	1 54	0.58	0.98	1 44	0.97	0.97	1 49	0.68	0.97
1325	1,44	1 04	0,07	1,54	0,00	0,00	1 / 8	1 02	0,07	1,40	0,00	0,07
1226	1,40	0.92	0,30	1,30	0,32	0,37	1,40	0.74	0,30	1,52	0,02	0,30
1020	1,40	0,03	0,90	1,49	0,72	0,99	1,50	0,74	0,99	1,00	0,01	0,99
1327	1,45	0,69	0,98	1,52	0,62	0,98	1,45	0,95	0,98	1,55	0,63	0,97
1328	1,40	1,00	0,98	1,59	0,57	0,98	1,38	1,42	0,94	1,49	0,70	0,96
1329	1,48	0,84	0,99	1,51	0,70	0,98	1,50	0,76	0,99	1,54	0,61	0,99
1330	1,45	1,01	0,98	1,49	0,76	0,97	1,47	0,91	0,98	1,53	0,65	0,97
1331	1,45	0,94	0,98	1,54	0,61	0,98	1,50	0,71	0,99	1,56	0,55	0,99
1332	1,48	0,94	0,98	1,49	0,82	0,96	1,48	0,90	0,98	1,54	0,72	0,96
1333	1,49	0,94	0,98	1,53	0,77	0,97	1,47	1,03	0,98	1,54	0,74	0,98
1334	1,49	0,88	0,98	1,53	0,71	0,97	1,48	0,85	0,98	1,53	0,67	0,98
1335	1,45	0,90	0,97	1,50	0,65	0,97	1,45	0,86	0,97	1,47	0,69	0,97
1336	1,49	0,83	0,99	1,51	0,72	0,98	1,49	0,76	0,99	1,55	0,59	0,99
1337	1,45	1,07	0,97	1,51	0,75	0,97	1,50	0,77	0,99	1,53	0,68	0,99
1338	1,44	0,98	0,97	1,52	0,64	0,98	1,47	0,82	0,98	1,52	0,61	0,98
1339	1.49	1.09	0.98	1.49	1.00	0.97	1.47	1.10	0.98	1.53	0.84	0.98
1340	1.45	0.89	0.98	1.52	0.62	0.98	1.45	0.95	0.98	1.53	0.63	0.97
1341	1.46	1.00	0.98	1.59	0.57	0.98	1.38	1.42	0.94	1.49	0.70	0.96
1342	1 48	0.82	0,00	1 51	0.69	0.98	1,50	0.76	0.99	1.54	0.61	0,00
13/13	1,40	0,02	0,00	1,51	0,00	0,00	1 11	0,70	0,00	1,54	0,61	0,00
12//	1,46	0,32	0,30	1,51	0,00	0,30	1,77	0,33	0,37	1,51	0,00	0,37
1044	1,40	0,93	0,90	1,52	0,00	0,97	1,00	0,75	0,99	1,50	0,50	0,99
1343	1,40	0,94	0,98	1,49	0,62	0,96	1,40	0,91	0,98	1,54	0,72	0,96
1340	1,48	1,00	0,98	1,53	0,79	0,97	1,45	1,14	0,98	1,54	0,77	0,98
1347	1,49	0,91	0,98	1,51	0,79	0,97	1,48	0,91	0,98	1,53	0,70	0,98
1348	1,45	0,90	0,97	1,49	0,65	0,97	1,45	0,86	0,97	1,47	0,69	0,97
1349	1,49	0,83	0,99	1,50	0,73	0,98	1,49	0,77	0,99	1,54	0,60	0,99
1350	1,45	1,05	0,97	1,52	0,69	0,97	1,50	0,75	0,99	1,54	0,63	0,99
1351	1,47	1,17	0,98	1,51	0,90	0,97	1,47	1,06	0,98	1,55	0,76	0,98
1352	1,45	0,89	0,98	1,52	0,62	0,98	1,45	0,95	0,98	1,53	0,63	0,97
1353	1,45	1,10	0,98	1,52	0,79	0,97	1,38	1,47	0,95	1,47	0,81	0,96
1354	1,48	0,82	0,99	1,51	0,69	0,98	1,50	0,76	0,99	1,54	0,61	0,99
1355	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,44	0,99	0,97	1,51	0,68	0,97
1356	1,45	0,96	0,98	1,50	0,72	0,97	1,50	0,74	0,99	1,54	0,61	0,99
1357	1,48	0,94	0,98	1,49	0,82	0,96	1,48	0,91	0,98	1,54	0,72	0,96
	, -		, -	, -		, -			, -			,

1358	1 / 8	1 00	0 08	1 50	0.01	0.96	1 11	1 26	0 98	1 58	0.68	0 97
1000	1,40	1,00	0,90	1,50	0,91	0,90	1,44	1,20	0,90	1,50	0,00	0,97
1359	1,49	0,90	0,99	1,52	0,76	0,97	1,40	0,91	0,98	1,52	0,72	0,96
1360	1,45	0,90	0,97	1,49	0,65	0,97	1,45	0,86	0,97	1,47	0,69	0,97
1361	1,49	0,83	0,99	1,50	0,73	0,98	1,50	0,76	0,99	1,55	0,59	0,99
1362	1,44	1,12	0,97	1,51	0,74	0,97	1,50	0,78	0,99	1,54	0,63	0,99
1363	1,46	0,92	0,98	1,52	0,65	0,98	1,47	0,86	0,98	1,54	0,59	0,97
1364	1,45	1,07	0,98	1,50	0,83	0,97	1,43	1,14	0,97	1,48	0,79	0,96
1365	1,48	0,82	0,99	1,51	0,69	0,98	1,50	0,76	0,99	1,54	0,61	0,99
1366	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,45	0,99	0,97	1,51	0,68	0,97
1367	1.48	0.86	0.98	1.51	0.69	0.97	1.50	0.76	0.99	1.55	0.61	0.99
1368	1 49	1 01	0.98	1 49	0,96	0.96	1 46	1 12	0.98	1.55	0.77	0.96
1360	1,10	0.01	0,00	1 / 8	0,00	0,00	1,10	0.84	0,00	1,00	0.66	0,00
1270	1,40	1 1 /	0,37	1,40	0,72	0,37	1,40	0,04	0,30	1,50	0,00	0,30
1070	1,40	0.90	0,97	1,51	0,00	0,97	1,49	0,07	0,99	1,00	0,05	0,99
13/1	1,40	0,89	0,98	1,50	0,68	0,98	1,49	0,74	0,98	1,53	0,57	0,99
1372	1,46	1,03	0,98	1,48	0,85	0,97	1,48	0,86	0,98	1,51	0,72	0,97
1373	1,48	0,82	0,99	1,51	0,69	0,98	1,50	0,76	0,99	1,54	0,61	0,99
1374	1,47	0,92	0,98	1,51	0,68	0,96	1,45	0,99	0,97	1,51	0,69	0,97
1375	1,46	0,93	0,97	1,50	0,72	0,97	1,50	0,76	0,99	1,54	0,63	0,99
1376	1,49	1,02	0,98	1,47	1,02	0,96	1,46	1,12	0,98	1,54	0,80	0,96
1377	1,47	0,88	0,98	1,48	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,67	0,98
1378	1,46	0,89	0,98	1,50	0,68	0,98	1,49	0,74	0,98	1,53	0,57	0,99
1379	1,46	1,05	0,97	1,48	0,82	0,97	1,48	0,84	0,98	1,51	0,71	0,97
1380	1.48	0.82	0.99	1.51	0.69	0.98	1.50	0.76	0.99	1.54	0.61	0.99
1381	1 46	0.97	0,98	1 48	0,80	0.97	1 47	0.92	0.98	1.52	0 70	0.98
1382	1 47	0.91	0.98	1,10	0.73	0.97	1 50	0.80	0,00	1 54	0.65	0,00
1383	1 /7	1 11	0,00	1,50	0,70	0,07	1,00	1 07	0,00	1,54	0,00	0,00
1203	1,46	0.90	0,97	1,51	0,00	0,90	1,40	0.74	0,90	1,50	0,71	0,97
1004	1,40	0,09	0,90	1,50	0,00	0,90	1,49	0,74	0,90	1,00	0,57	0,99
1385	1,47	1,00	0,97	1,52	0,74	0,97	1,48	0,84	0,98	1,51	0,69	0,98
1386	1,48	0,82	0,99	1,51	0,69	0,98	1,50	0,75	0,99	1,54	0,61	0,99
1387	1,47	0,93	0,98	1,49	0,79	0,97	1,47	0,93	0,98	1,53	0,70	0,98
1388	1,47	0,91	0,98	1,49	0,78	0,97	1,50	0,82	0,99	1,54	0,67	0,99
1389	1,47	1,11	0,97	1,51	0,88	0,96	1,47	1,07	0,98	1,56	0,71	0,97
1390	1,46	0,89	0,98	1,50	0,68	0,98	1,49	0,74	0,98	1,53	0,57	0,99
1391	1,47	1,00	0,97	1,52	0,73	0,97	1,48	0,85	0,98	1,51	0,70	0,98
1392	1,48	0,84	0,99	1,51	0,71	0,98	1,50	0,75	0,99	1,54	0,62	0,99
1393	1,48	0,96	0,98	1,48	0,86	0,96	1,46	1,04	0,97	1,52	0,75	0,97
1394	1,47	0,92	0,98	1,49	0,79	0,97	1,51	0,80	0,99	1,53	0,70	0,99
1395	1.45	0.95	0.98	1.50	0.70	0.97	1.49	0.74	0.98	1.54	0.58	0.99
1396	1.47	1.00	0.98	1.53	0.72	0.96	1.48	0.88	0.98	1.52	0.69	0.98
1397	1 49	0.84	0,00	1 50	0.73	0.98	1,50	0.75	0.99	1.55	0,60	0,00
1308	1,10	0,01	0,00	1,00	0.84	0,00	1 /7	1 01	0,00	1,00	0,00	0,00
1300	1,40	0,00	0,00	1,50	0,04	0,00	1 /0	0.75	0,00	1,54	0,72	0,07
1400	1,40	1.00	0,97	1,50	0,72	0,90	1,43	0,75	0,90	1,55	0,00	0,99
1400	1,47	1,00	0,90	1,55	0,73	0,97	1,40	0,00	0,90	1,00	0,00	0,90
1401	1,49	0,84	0,99	1,50	0,74	0,98	1,50	0,74	0,99	1,55	0,59	0,99
1402	1,48	0,97	0,98	1,50	0,83	0,96	1,47	1,02	0,98	1,53	0,75	0,97
1403	1,45	0,98	0,97	1,50	0,71	0,98	1,49	0,76	0,99	1,51	0,65	0,98
1404	1,49	0,93	0,98	1,54	0,72	0,97	1,48	0,85	0,98	1,53	0,66	0,98
1405	1,49	0,82	0,99	1,52	0,70	0,98	1,50	0,75	0,99	1,55	0,58	0,99
1406	1,48	0,94	0,98	1,49	0,82	0,96	1,48	0,91	0,98	1,54	0,72	0,96
1407	1,45	0,98	0,97	1,50	0,71	0,98	1,49	0,76	0,99	1,51	0,66	0,99
1408	1,49	0,93	0,98	1,55	0,70	0,97	1,48	0,86	0,98	1,52	0,66	0,98
1409	1.49	0.86	0.99	1.51	0.73	0.98	1,50	0.78	0.99	1.56	0.57	0.99
1410	1.48	0.94	0.98	1.49	0.82	0.96	1.48	0.91	0.98	1.54	0.72	0.96
1411	1 45	0.98	0.97	1.50	0 71	0.98	1 49	0.76	0.99	1 51	0.66	0.99
1412	1 49	0.95	0.98	1 54	0.75	0 97	1 49	0.82	0 98	1.52	0.69	0 98
1413	1 / 2	0,00 0 86	0.00	1 50	0 77	0.02	1,40	0.72	0,00	1 56	0.50	0,00
1/1/	1 /0	0,00	0,30	1 40	0,11	0,00	1 /0	0,70	0,99	1 54	0,03	0,99
1414	1,40	0,94	0,90	1,49	0,0∠	0,90	1,40	0,91	0,90	1,04	$0, 1 \ge$	0,90

1415	1,46	0,91	0,97	1,50	0,70	0,97	1,48	0,78	0,99	1,52	0,62	0,99
1416	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
1417	1,48	0,91	0,98	1,50	0,79	0,98	1,49	0,84	0,99	1,56	0,63	0,99
1418	1,48	0,94	0,98	1,49	0,82	0,96	1,48	0,91	0,98	1,54	0,72	0,96
1419	1,46	0,90	0,97	1,52	0,65	0,97	1,49	0,76	0,99	1,53	0,60	0,99
1420	1.49	0.95	0.98	1.54	0.75	0.97	1.49	0.82	0.98	1.52	0.69	0.98
1421	1.49	0.86	0.99	1.50	0.77	0.98	1.49	0.86	0.98	1.55	0.62	0.99
1422	1 48	0,95	0,98	1 51	0.83	0.97	1 46	1 07	0.98	1.54	0.74	0,98
1423	1,10	0.92	0.97	1 49	0.71	0.97	1 48	0.77	0.98	1 52	0.61	0,00
1/2/	1 / 0	0.95	0,07	1,10	0.75	0,07	1,10	0.82	0,00	1,52	0.69	0,00
1425	1,70	0,35	0,30	1,57	0,75	0,37	1,43	0,02	0,30	1,52	0,03	0,30
1420	1,30	1.04	0,99	1,52	0,09	0,90	1.46	1 1 2	0,99	1,57	0,00	0,90
1420	1,47	1,04	0,90	1,51	0,00	0,90	1,40	1,13	0,97	1,04	0,77	0,90
1427	1,40	0,67	0,97	1,50	0,00	0,97	1,47	0,61	0,96	1,49	0,66	0,98
1428	1,49	0,95	0,98	1,54	0,75	0,97	1,49	0,82	0,98	1,52	0,69	0,98
1429	1,46	1,09	0,98	1,54	0,76	0,97	1,49	0,96	0,98	1,55	0,73	0,98
1430	1,46	0,88	0,98	1,47	0,76	0,97	1,48	0,80	0,98	1,51	0,66	0,98
1431	1,49	0,98	0,98	1,53	0,80	0,97	1,48	0,89	0,98	1,51	0,76	0,99
1432	1,46	1,09	0,98	1,54	0,76	0,97	1,49	0,96	0,98	1,55	0,73	0,98
1433	1,46	0,89	0,98	1,48	0,74	0,97	1,48	0,81	0,98	1,51	0,67	0,98
1434	1,48	1,02	0,98	1,56	0,74	0,97	1,48	0,94	0,98	1,52	0,75	0,98
1435	1,47	0,87	0,98	1,49	0,74	0,97	1,49	0,81	0,98	1,52	0,67	0,98
1436	1,48	1,04	0,98	1,53	0,82	0,96	1,47	1,00	0,98	1,53	0,77	0,98
1437	1,46	0,92	0,98	1,50	0,72	0,97	1,49	0,82	0,99	1,53	0,65	0,98
1438	1,46	0,94	0,97	1,52	0,67	0,97	1,49	0,84	0,98	1,54	0,66	0,98
1439	1,45	0,97	0,97	1,53	0,65	0,97	1,50	0,82	0,99	1,56	0,63	0,98
1440	1,46	0,96	0,97	1,51	0,71	0,97	1,49	0,88	0,99	1,54	0,69	0,98
1441	1,46	0,96	0,97	1,52	0.67	0,97	1,49	0.88	0,99	1,54	0.68	0,98
1442	1,46	0,94	0,98	1,52	0,68	0,98	1,50	0,85	0,99	1,54	0,68	0,99
1443	1.47	0.91	0.98	1.52	0.69	0.98	1.50	0.85	0.99	1.54	0.70	0.99
1444	1.48	0.90	0.98	1.50	0.77	0.97	1.50	0.83	0.99	1.53	0.73	0.98
1445	1.47	0.91	0.98	1.49	0.78	0.97	1.50	0.82	0.99	1.52	0.73	0.98
1446	1.48	0.89	0.98	1.52	0.73	0.98	1.50	0.84	0.99	1.53	0.72	0.99
1447	1,10	0.85	0,00	1.52	0,69	0.98	1 42	1 23	0.97	1,55	0.67	0.98
1448	1 49	0.84	0.98	1.52	0,00	0.98	1 30	1 44	0.96	1,53	0.71	0.97
1449	1,10	0,01	0,00	1,52	0,69	0,00	1,00	0.74	0,00	1,00	0,60	0.96
1450	1,50	0,73	0,33	1,52	0,03	0,30	1,51	0,74	0,33	1,57	0,00	0,30
1451	1,50	0,73	0,33	1,52	0,03	0,30	1,51	0,7-	0,33	1,57	0,00	0,30
1450	1,50	0,70	0,33	1,50	0,00	0,30	1.46	1 00	0,33	1,57	0,00	0,30
1452	1,50	0,04	0,99	1,55	0,70	0,90	1,40	0.02	0,90	1,50	0,02	0,90
1400	1,49	0,90	0,99	1,55	0,75	0,97	1,40	0,92	0,90	1,00	0,73	0,90
1404	1,49	0,91	0,90	1,51	0,00	0,97	1,47	0,90	0,90	1,02	0,74	0,90
1400	1,49	0,96	0,98	1,51	0,63	0,96	1,49	0,92	0,99	1,53	0,75	0,98
1450	1,49	0,98	0,98	1,53	0,79	0,97	1,48	0,94	0,98	1,53	0,73	0,98
1457	1,48	1,01	0,98	1,52	0,82	0,97	1,47	0,96	0,98	1,53	0,74	0,98
1458	1,48	1,04	0,98	1,52	0,85	0,96	1,47	1,02	0,98	1,53	0,79	0,98
1459	1,47	1,06	0,98	1,55	0,75	0,96	1,46	1,11	0,98	1,53	0,82	0,98
1460	1,47	1,06	0,98	1,55	0,75	0,96	1,47	1,07	0,98	1,55	0,79	0,97
1461	1,47	1,06	0,98	1,55	0,75	0,96	1,47	1,07	0,98	1,55	0,79	0,97
1462	1,49	1,01	0,98	1,49	0,96	0,96	1,46	1,12	0,97	1,53	0,82	0,97
1463	1,47	1,11	0,97	1,51	0,88	0,96	1,47	1,07	0,98	1,56	0,71	0,97
1464	1,47	1,11	0,97	1,51	0,88	0,96	1,47	1,07	0,98	1,56	0,71	0,97
1465	1,49	0,99	0,98	1,49	0,96	0,97	1,45	1,19	0,97	1,56	0,72	0,98
1466	1,49	0,96	0,98	1,52	0,81	0,97	1,45	1,12	0,98	1,56	0,68	0,98
1467	1,49	0,92	0,98	1,53	0,77	0,97	1,45	1,10	0,98	1,56	0,65	0,97
1468	1,49	0,91	0,98	1,53	0,77	0,97	1,45	1,10	0,98	1,56	0,65	0,97
1469	1,49	0,92	0,98	1,53	0,77	0,97	1,45	1,10	0,98	1,56	0,65	0,97
1470	1,48	1,06	0,98	1,53	0,83	0,97	1,48	1,03	0,98	1,56	0,72	0,98
1471	1,47	1,10	0,97	1,52	0,85	0,97	1,48	1,01	0,98	1,57	0,71	0,98

1472	1 47	1 17	0.98	1 51	0.91	0 97	1 47	1.06	0 98	1 55	0 77	0.98
1472	1 / 9	1 10	0,00	1,51	0.97	0.07	1 /7	1,00	0,00	1,50	0,77	0,00
1475	1,40	1,10	0,90	1,52	0,87	0,97	1,47	1,00	0,90	1,55	0,80	0,90
1474	1,49	1,01	0,98	1,51	0,89	0,98	1,46	1,11	0,98	1,55	0,75	0,98
1475	1,48	1,02	0,98	1,51	0,88	0,98	1,46	1,12	0,98	1,56	0,71	0,97
1476	1,48	0,96	0,98	1,53	0,75	0,98	1,46	1,10	0,98	1,54	0,74	0,97
1477	1,48	0,96	0,98	1,52	0,78	0,98	1,45	1,13	0,98	1,52	0,80	0,97
1478	1,48	0,96	0,98	1,52	0,78	0,98	1,45	1,14	0,98	1,52	0,80	0,97
1479	1,47	0,96	0,98	1,50	0,78	0,98	1,48	0,89	0,98	1,55	0,66	0,98
1480	1,47	0,95	0,98	1,50	0,80	0,98	1,47	0,92	0,98	1,54	0,68	0,98
1481	1,46	1,00	0,97	1,50	0,80	0,98	1,48	0,87	0,98	1,55	0,63	0,98
1482	1,48	0,91	0,98	1,52	0,72	0,98	1,48	0,83	0,99	1,54	0,64	0,99
1483	1,42	1,28	0,97	1,51	0,81	0,97	1,49	0,82	0,99	1,54	0,67	0,99
1484	1,43	1,24	0,96	1,50	0,86	0,96	1,48	0,87	0,98	1,53	0,69	0,99
1485	1,38	1,58	0,94	1,41	1,24	0,93	1,47	0,87	0,98	1,50	0,74	0,98
1486	1,34	1,74	0,92	1,38	1,34	0,88	1,43	1,02	0,96	1,43	0,93	0,96
1487	1,34	1,74	0,92	1,38	1,34	0,88	1,43	1,01	0,96	1,43	0,92	0,96
1488	1,34	1,74	0,92	1,38	1,34	0,88	1,42	1,04	0,96	1,43	0,93	0,96