MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Alice Flores de Oliveira

IMPACTO DAS ÁREAS ANTROPIZADAS COM PASTAGENS E GARIMPO DE TOPÁZIO IMPERIAL NAS INUNDAÇÕES DO RIO MARACUJÁ NO DISTRITO DE CACHOEIRA DO CAMPO-MG

Ouro Preto

2022

Impacto das áreas antropizadas com pastagens e garimpo de Topázio Imperial nas inundações do rio Maracujá no distrito de Cachoeira do Campo-MG

Alice Flores de Oliveira

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheira Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 24/06/2022

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientadora: Profª. M.Sc. Maria Luíza Teófilo Gandini – UFOP

Ouro Preto

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O48i Oliveira, Alice Flores de.
Impacto das áreas antropizadas com pastagens e garimpo de topázio imperial nas inundações do Rio Maracujá no DISTRITO DE CACHOEIRA DO CAMPO-MG. [manuscrito] / Alice Flores de Oliveira. - 2022.
65 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Ma. MARIA LUÍZA TEÓFILO GANDINI.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Geoprocessamento. 2. Degradação. 3. Voçorocas. 4. Equação de intensidade, duração e freqüência (IDF). 5. Modelagem Hidrológica. I. GANDINI, MARIA LUÍZA TEÓFILO. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alice Flores de Oliveira

Impacto das áreas antropizadas com pastagens e garimpo de Topázio Imperial nas inundações do rio Maracujá no distrito de Cachoeira do Campo-MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil

Aprovada em 24 de junho de 2022

Membros da banca

Ma. Maria Luíza Teófilo Gandini - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Carlos Eduardo Ferraz de Mello - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. César Falcão Barella - Universidade Federal de Ouro Preto

Maria Luíza Teófilo Gandini, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 24/03/2023

Documento assinado eletronicamente por **Maria Luiza Teofilo Gandini**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/04/2023, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Carlos Eduardo Ferraz de Mello**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/04/2023, às 15:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Cesar Falcao Barella**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/04/2023, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0508272** e o código CRC **8C59B8DA**.

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591546 - www.ufop.br

Dedico este trabalho a todos que sofrem com os prejuízos e tragédias causadas após as chuvas e a instabilidade de se viver em um local sem planejamento adequado, principalmente da região de Ouro Preto – MG, onde o garimpo de Topázio Imperial, apesar de uma saída para as dificuldades econômicas, traz tantos prejuízos ambientais e sociais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me manteve forte e com saúde para chegar até aqui. Aos meus pais, Eliezer e Eliane, que nunca mediram esforços para que eu buscasse esse sonho. Ao meu irmão, Arthur, por me fazer querer ser exemplo e ao mesmo tempo me ensinar tanto. Ao Thiago que me ouviu, me deu suporte e carinho em cada momento difícil e vibrou comigo nas conquistas. Aos grandes amigos, em especial, Lourenço e Júlia por compartilhar da mesma luta e torná-la mais leve e feliz. À Malu, por doar seu tempo, conhecimento e atenção com tanta dedicação e sabedoria. À Jessyca pela colaboração na área de sensoriamento remoto. À UFOP, pelo ensino gratuito e de qualidade e pelas inúmeras portas que me abriu durante essa caminhada. Muito obrigada!

RESUMO

Este trabalho utilizou de métodos de geoprocessamento na delimitação de uma bacia localizada no distrito de Cachoeira do Campo em Ouro Preto – MG, por meio do QGIS. O *software* também possibilitou trabalhar com mapas de pedologia e utilização do solo local para obtenção do CN, baseado no método do SCS, para estudos hidrológicos e a demonstração de como a degradação causada pelas pastagens e pelo garimpo de Topázio Imperial impacta o escoamento superficial na bacia e no comportamento de seus rios e enchentes. De posse de dados da série histórica de chuvas de um local próximo com características pluviométricas semelhantes, foi possível prosseguir a modelagem com a obtenção da equação IDF, hietogramas e hidrogramas. Considerando a recuperação do local degradado com alta incidência de voçorocas fez-se a simulação da bacia revegetada em dois cenários. A modelagem para os dois cenários comparadas com o atual mostrou os impactos significativos nos resultados dos hietogramas e hidrogramas devido à diminuição do valor do CN, que chegou a reduções em média de 42% e 23%, para AMC II e AMC III, respectivamente. Foi possível então concluir a importância de se aumentar a fiscalização em atividades de intervenção humana intensa, principalmente de pastagens sem planejamento e de mineração a fim de recuperar os locais degradados pela atividade, sendo a revegetação um dos métodos de recuperação que pode ser aplicado com sucesso quando se trata de mitigar os processos de erosão e assoreamento de cursos d'água.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Degradação, Voçorocas, Equação IDF, Modelagem Hidrológica.

ABSTRACT

This work used geoprocessing methods in the delimitation of a basin located in the district of Cachoeira do Campo in Ouro Preto - MG, through QGIS. The software also made it possible to work with pedology maps and local soil use to obtain the CN, based on the SCS method, for hydrological studies and the demonstration of how degradation caused by pastures and by Topázio Imperial mining impacts the runoff in the basin and the behavior of its rivers and floods. With data from the historical series of rainfall from a nearby location with similar rainfall characteristics, it was possible to proceed with the modeling by obtaining the IDF equation, hyetograms and hydrographs. Considering the recovery of the degraded site with a high incidence of gullies, a simulation of the revegetated basin was carried out in two scenarios. The modeling for the two scenarios compared to the current one showed the significant impacts on the results of hyetographs and hydrographs due to the decrease in the CN value, which reached reductions about 42% and 23% for AMC II and AMC III, respectively. It was then possible to conclude the importance of increasing inspection in activities of intense human intervention, mainly of unplanned pastures and mining in order to recover the places degraded by the activity, with revegetation being one of the recovery methods that can be successfully applied. when it comes to mitigating the processes of erosion and siltation of watercourses.

Keywords: Geoprocessing, Degradation, Gully, IDF Equation, Hydrological Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem parcial da bacia com foco na nascente do rio Maracujá e formação de voçorocas próximo de uma mina abandonada (AUTORA, 2022). 2

Figura 2: Município de Ouro Preto e bacia do rio Maracujá (Adaptado de CARVALHO & SOBREIRA, 2016).....3

Figura 3: Feições erosivas na bacia do rio Maracujá (CARVALHO & SOBREIRA, 2016). 4

Figura 4: a) Mapa de localização de Cachoeira do Campo, sendo o ponto 1 a Formação Cercadinho, o ponto 2 o Complexo do Bação e o ponto 3 o contato entre a unidade Catarina Mendes e o Complexo do Bação (QUEIROZ et al., 2020). b) Voçoroca da Formação Cercadinho vista em planta (QUEIROZ et al., 2020). c) Voçoroca da Formação Cercadinho vista em perfil (QUEIROZ et al., 2020). d) Voçoroca da Formação Cercadinho vista em perfil (QUEIROZ et al., 2017). 5

Figura 5: Hidrograma unitário do SCS e suas equações (Adaptado de BARBOSA JR, 2007).....14

Figura 6: Localização da bacia estudada (AUTORA, 2022). 34

Figura 7: Pedologia da bacia (AUTORA, 2022). 35

Figura 8: Gráfico da distribuição Log-Normal (AUTORA, 2022). 43

Figura 9: Gráfico da distribuição Pearson tipo III (AUTORA, 2022). 43

Figura 10: Gráfico da distribuição Log-Pearson tipo III (AUTORA, 2022).....44

Figura 11: Gráfico da distribuição Gumbel Teórica (AUTORA, 2022).....44

Figura 12: Gráfico da distribuição Gumbel Finita (AUTORA, 2022).....45

Figura 13: Comparação entre valores observados e calculados (AUTORA, 2022). 46

Figura 14: Comparação entre valores observados e calculados (AUTORA, 2022). 47

Figura 15: Hietograma para o Tr de 10 anos (AUTORA, 2022). 48

Figura 16:Hietograma para o Tr de 50 anos (AUTORA, 2022). 48

Figura 17: Hietograma para o Tr de 100 anos (AUTORA, 2022). 49

Figura 18: Hidrograma para Tr de 10 anos e AMC II (AUTORA, 2022). 50

Figura 19: Hidrograma para Tr de 50 anos e AMC II (AUTORA, 2022). 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação sobre a mudança e uso do solo (TUCCI e CLARKE, 1997). 11

Tabela 2: Valores de CN para bacias rurais (TUCCI, 2001). 17

Tabela 3: Valores de CN para bacias urbanas (TUCCI, 2001). 18

Tabela 4: Correspondências entre as classes de Tucci (2001) e IBGE (2013) retirada do Adendo à Nota Técnica nº 46/2018/SPR/ANA (Adaptado de ANA, 2018). 26

Tabela 5: Dados da estação pluviométrica por ano hidrológico (AUTORA, 2022). 29

Tabela 6: Classificação dos solos encontrados na bacia estudada (AUTORA, 2022). 36

Tabela 7: Uso do solo para o grupo B (LVAd1) (AUTORA, 2022). 36

Tabela 8: Uso do solo para o grupo C (CXbd1 e CXbd29) (AUTORA, 2022). 37

Tabela 9: Uso do solo para o grupo D (RLd4) (AUTORA, 2022). 37

Tabela 10: Uso e ocupação na bacia e sua equivalência para os dados da tabela de CN de Tucci (2001) (AUTORA, 2022). 38

Tabela 11: CN da condição AMC II de cada sub-região (AUTORA, 2022). 39

Tabela 12: CN da condição AMC III de cada sub-região (AUTORA, 2022). 39

Tabela 13: CN para os usos e ocupação escolhidos para a revegetação (AUTORA, 2022). 40

Tabela 14: CN médio para cada cenário e AMC (AUTORA, 2022). 40

Tabela 15: Resultados dos testes de *outlier* (AUTORA, 2022). 41

Tabela 16: Parâmetros do teste K-S e p-Valor para as distribuições adotadas (AUTORA, 2022). 42

Tabela 17: Vazões de pico para AMC II (AUTORA, 2022). 53

Tabela 18: Vazões de pico para AMC III (AUTORA, 2022). 53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Objetivo geral 6

1.1.1 Objetivos específicos 6

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7

2.1 Bacia hidrográfica 7

2.2 Caracterização fisiográfica 7

2.2.1 Área e formato da bacia 8

2.2.2 Densidade de drenagem e declividade da bacia 8

2.2.3 Pedologia 10

2.2.4 Uso do solo e cobertura vegetal 11

2.3 Geoprocessamento 12

2.4 Modelagem hidrológica 13

2.4.1 Equação Intensidade-Duração-Frequência 13

2.4.2 Método do SCS 13

2.5 Topázio Imperial e garimpo ilegal 19

2.5.1 Voçorocas e assoreamento de rios 20

2.5.2 Legislação da atividade garimpeira 21

3 MATERIAIS E MÉTODOS 22

3.1 Caracterização da bacia 22

3.1.1 Localização, clima e vegetação 22

3.1.2 Caracterização fisiográfica da bacia 23

3.1.3 Cálculo do CN 25

3.1.4 Cálculo do tempo de concentração 27
3.2 Simulação de cenários 27
3.3 Equação IDF 28
3.4 Hietogramas 32
3.5 Hidrogramas 32
4 RESULTADOS 34
4.1 Delimitação da bacia 34
4.2 Mapa pedológico 35
4.3 Ocupação do solo 36
4.4 Cálculo do CN 38
4.5 Tempo de concentração 40
4.6 Equação IDF 41
4.6.1 Teste de *outlier* 41
4.6.2 Distribuição estatística de probabilidade 42
4.6.3 Parâmetros de ajuste da curva 45
4.7 Hietogramas 47
4.8 Hidrogramas 49
5 CONCLUSÃO 54
5.1 Sugestões para trabalhos futuros 54
REFERÊNCIAS 56
APÊNDICE A – Mapa de uso e ocupação do solo da bacia estudada. 61
APÊNDICE B – Dados para obtenção da IDF 62

1 INTRODUÇÃO

Todos os anos, desastres causados pelas chuvas são noticiados mostrando a realidade de muitas famílias que vivem em situações de risco e sofrem com perdas materiais e até mesmo com mortes. Precipitações mais fortes aliadas à ocupação desordenada e aos desmatamentos de margens de rios e encostas são fatores que aumentam a vulnerabilidade dos locais que já sofriam com as enchentes naturais.

As inundações são produzidas devido a um conjunto de condições hidrológicas e meteorológicas e podem ser naturais ou artificiais, e embora as condições meteorológicas se relacionem com inúmeros eventos de impacto social e econômico, ainda se conhece pouco sobre seu comportamento (TUCCI, 2001).

A relevância de estudos na área é tão alta que os ODS (Objetivos de Desenvolvimentos Sustentável) da ONU abordam como meta, a redução de prejuízos e mortes devido à desastres relacionados à água (IPEA, 2019).

O ODS11, Cidades e Comunidades Sustentáveis, traz a seguinte meta para o Brasil:

> “Até 2030, reduzir significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por desastres naturais de origem hidrometeorológica e climatológica, bem como diminuir substancialmente o número de pessoas residentes em áreas de risco e as perdas econômicas diretas causadas por esses desastres em relação ao produto interno bruto, com especial atenção na proteção de pessoas de baixa renda e em situação de vulnerabilidade.” (IPEA, 2019).

A tendência que um terreno em condições naturais tem para sofrer com inundações é afetada diretamente pela ação do ser humano quando há, por exemplo, obras hidráulicas, barragens, desmatamento ou uso agrícola; essa interferência faz com que o local sofra com as condições artificiais (TUCCI, 2001). Tucci (2001) ressalta ainda a importância da cobertura vegetal como forma de proteção do solo durante as precipitações, reduzindo a ocorrência de erosões e consequentemente evitando o assoreamento das calhas dos rios da região.

Cruz (2017) em um estudo realizado na região de Ouro Preto mostra a região de garimpo com incidência de voçorocas e ravinamentos ocasionados pela erosão do

solo sem cobertura vegetal. Por se tratar de uma atividade rudimentar, sem planejamento e estruturas adequadas, o garimpo é tido como atividade de degradação ambiental (AMADE e LIMA, 2009).

A região do Médio Maracujá (Figura 1), onde se localizam os distritos de Amarantina e Cachoeira do Campo, é composta por atividades de mineração voltadas para o garimpo de Topázio Imperial. No local é predominante a atividade de forma ilegal, a qual existe desde a década de 70 (PEIXOTO e LIMA, 2004). O contorno da bacia do rio Maracujá é apresentado na Figura 2.

Figura 1: Imagem parcial da bacia com foco na nascente do rio Maracujá e formação de voçorocas próximo de uma mina abandonada (AUTORA, 2022).

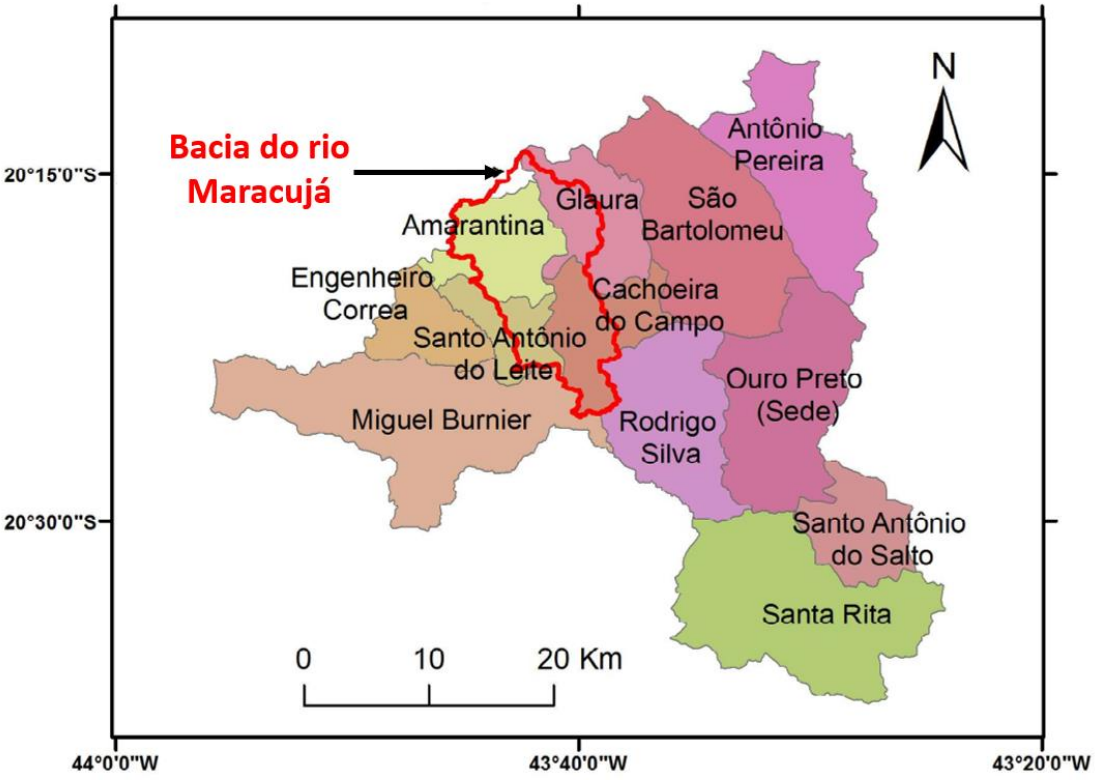


Figura 2: Município de Ouro Preto e bacia do rio Maracujá (Adaptado de CARVALHO & SOBREIRA, 2016).

Em Bacellar (2000) encontra-se:

> "Num relance na história de Cachoeira do Campo, vemos que esse distrito foi celeiro da região à época do ciclo do ouro em Minas Gerais. O desmatamento e o uso irracional da terra são considerados agentes deflagradores da erosão. Na região da bacia do Maracujá foram catalogadas 385 feições erosivas: 173 classificadas por voçorocas profundas e as 212 restantes, como ravinas ou voçorocas."

A Figura 3 apresenta feições erosivas dentro da bacia do rio Maracujá e a Figura 4 detalha algumas delas.

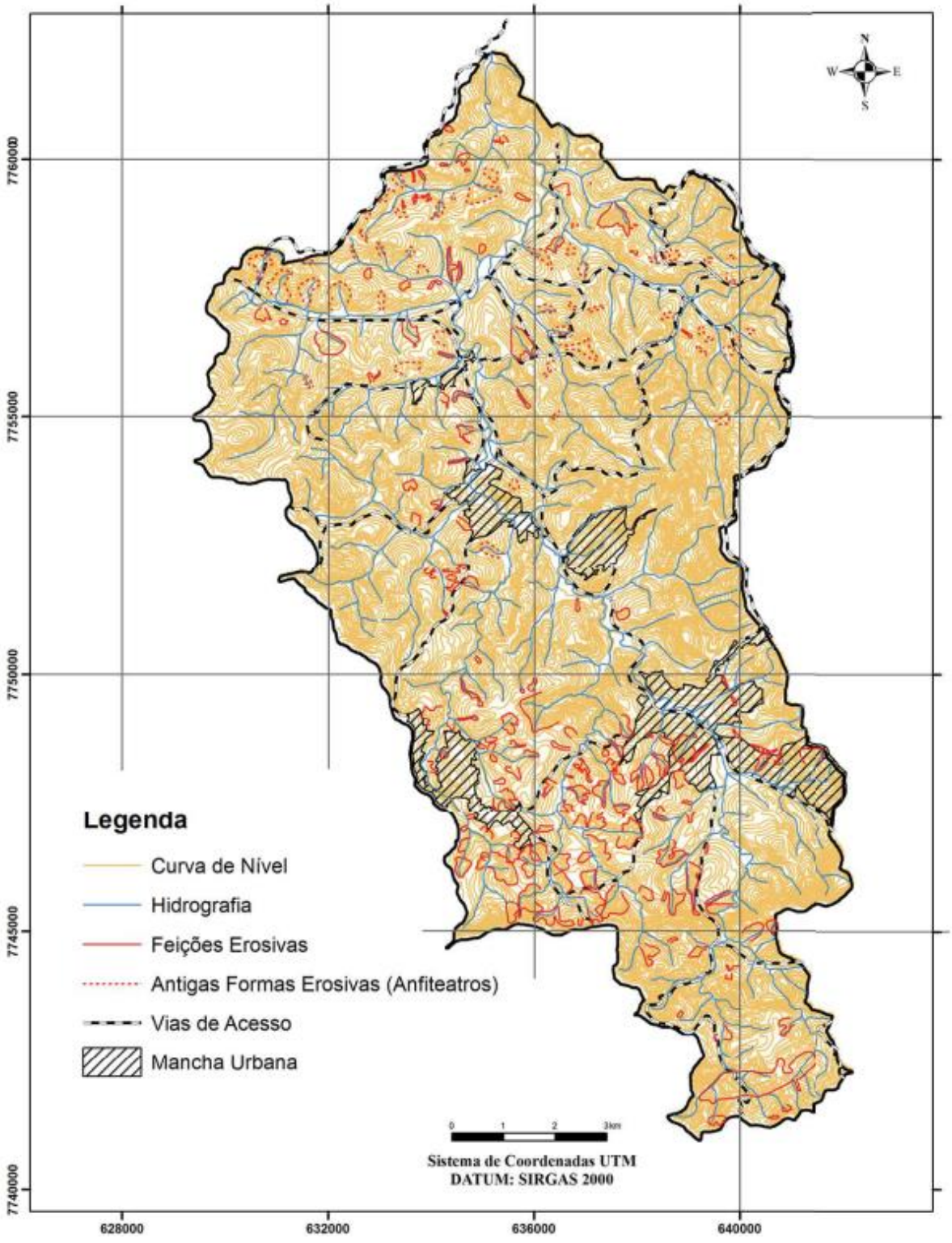
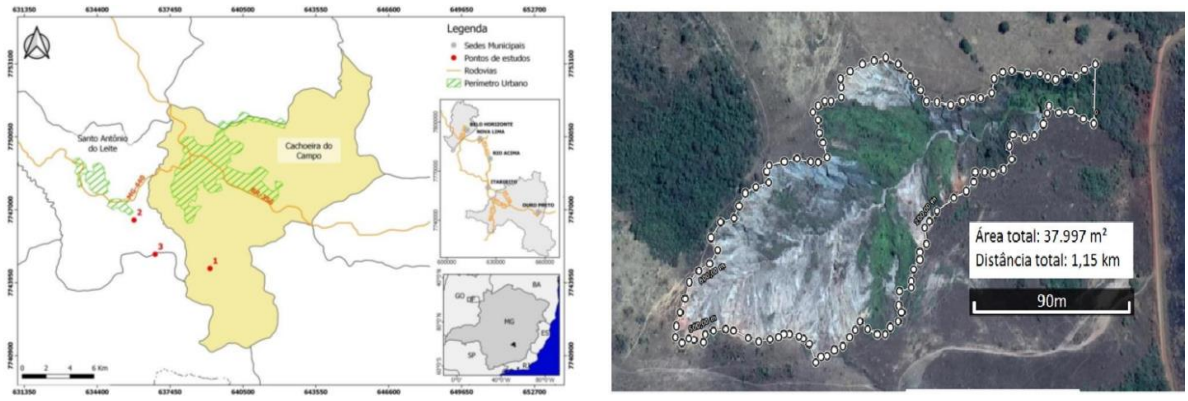
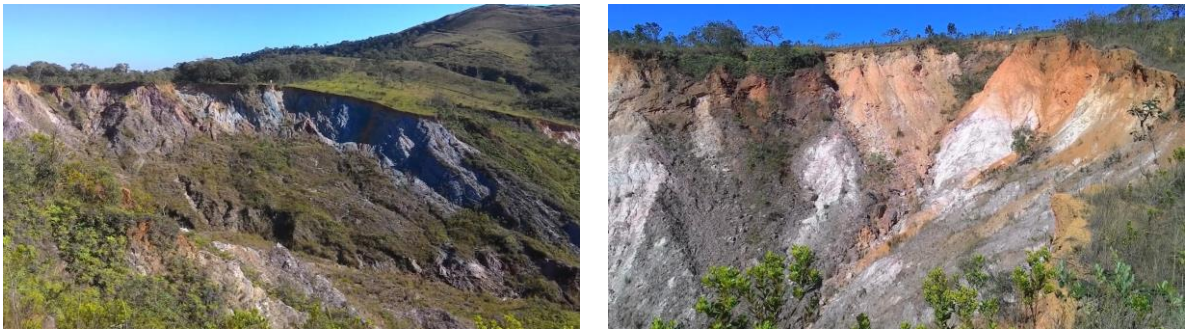


Figura 3: Feições erosivas na bacia do rio Maracujá (CARVALHO & SOBREIRA, 2016).



(a) **(b)**



(c) **(d)**

Figura 4: a) Mapa de localização de Cachoeira do Campo, sendo o ponto 1 a Formação Cercadinho, o ponto 2 o Complexo do Bação e o ponto 3 o contato entre a unidade Catarina Mendes e o Complexo do Bação (QUEIROZ et al., 2020). b) Voçoroca da Formação Cercadinho vista em planta (QUEIROZ et al., 2020). c) Voçoroca da Formação Cercadinho vista em perfil (QUEIROZ et al., 2020). d) Voçoroca da Formação Cercadinho vista em perfil (QUEIROZ et al., 2017).

Aliado às expressivas feições erosivas presentes na bacia, tem-se o fato de que em outubro de 2021 os distritos de Cachoeira do Campo e Amarantina sofreram com chuvas que ultrapassaram 200 milímetros em poucas horas o que levou ao transbordamento do rio Maracujá deixando moradores desabrigados e causando grandes prejuízos à população; fatos que justificam o foco desse estudo.

Nesse contexto, este trabalho tem intuito de entender as causas dessas inundações e suas relações com a pastagem sem manejo e com o garimpo ilegal na cabeceira do rio Maracujá. Acrescido a isso, este trabalho busca também propor e

simular os efeitos da revegetação dos locais desmatados na calha do rio e assim possibilitar estudos que propiciem mais segurança à população local que vive, frequentemente, momentos de insegurança e vulnerabilidade.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo entender os impactos da exploração desordenada de bacias hidrográficas, com foco nas pastagens e na atividade garimpeira, nas inundações causadas no distrito de Cachoeira do Campo, município de Ouro Preto – MG, pela cheia do rio Maracujá.

1.1.1 Objetivos específicos

O objetivo geral pode ser subdividido em cinco objetivos específicos:

- caracterizar fisiograficamente a parte da bacia do rio Maracujá localizada no distrito de Cachoeira do Campo - MG;
- realizar as classificações hidrológica e do uso e cobertura do solo da bacia com o programa QGIS;
- caracterizar o regime pluviométrico da bacia, obtendo as equações de intensidade-duração-frequência locais;
- executar a modelagem hidrológica da área estudada aplicando o método do SCS na situação atual, determinando o hidrograma do escoamento superficial bem como as vazões máximas para cada período de retorno definido e
- a partir do entendimento do uso do solo local e seus índices de escoamento pelo método SCS, apresentar alternativas de recuperação do local estudado afetado pelas pastagens e pelo garimpo, simulando como será o comportamento do rio após a revegetação de algumas áreas da bacia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguinte revisão bibliográfica traz conceitos importantes para o entendimento do trabalho, abordando a definição de bacia hidrográfica e sua caracterização, geoprocessamento e modelagem hidrológica, bem como os conceitos relacionados às atividades garimpeiras, como seu impacto no uso e cobertura do solo, legislação e a revegetação de áreas degradadas pela pastagem e pelo garimpo.

2.1 Bacia hidrográfica

É fundamental conhecer o conceito e a definição de bacia hidrográfica para aplicar aos estudos de hidrologia (SHAHIDIAN et al., 2017). A bacia hidrográfica é uma área de captação de água que direciona, pelo seu formato, os escoamentos para o ponto de saída, chamado de exutório (TUCCI, 2001).

É o formato natural da área da bacia que permite o escoamento da precipitação. Esse sistema de drenagem natural é caracterizado pelo seu relevo, clima, geometria, cobertura vegetal do solo e uso do solo. Tais elementos permitem entender o caminho percorrido pela água até o exutório e as perdas ocorridas ao longo do processo.

Para delimitar uma bacia hidrográfica realiza-se um traçado em mapa topográfico que indica o limite entre as bacias vizinhas e aquela a que se deseja estudar (GANDINI, 2014). Esses limites são determinados com base no relevo local. A parte mais alta, chamada divisor de águas, é o limite entre duas bacias vizinhas. O divisor de águas é que define a direção do escoamento da água precipitada e permite assim a demarcação de uma bacia (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

É dentro dos limites de uma bacia que ocorre a entrada de toda água precipitada na área, sendo a saída definida pelo volume que sai pelo exutório e também pelos volumes evaporados, transpirados e infiltrados (TUCCI, 2001).

2.2 Caracterização fisiográfica

Para se estudar o comportamento e entender os processos ocorridos dentro dos limites de uma bacia é imprescindível a sua caracterização fisiográfica. Essa

caracterização pode ser feita por meio de imagens de satélite, mapas, levantamentos topográficos e fotografias aéreas (SHAHIDIAN et al., 2017).

O conhecimento das características físicas de uma bacia hidrográfica permite analisar suas combinações a fim de prever possíveis comportamentos, evoluções, degradações e propor soluções para o local (MEDEIROS, SÃO MIGUEL e BRUGNOLLI, 2014).

Nos próximos tópicos têm-se as características de maior relevância no estudo de bacias.

2.2.1 Área e formato da bacia

Definida pela projeção horizontal plana da bacia dentro dos seus limites, a área tem papel fundamental para definição do volume de água precipitada e recebida no local (TUCCI, 2001).

Tendo em mãos o contorno da bacia que se deseja estudar, é possível obter sua área por planimetragem direta de mapas (TUCCI, 2001) ou por cálculos matemáticos de mapas através de ferramentas SIG (Sistema de Informações Geográficas), este último será abordado ao longo deste trabalho como ferramenta essencial à obtenção dos resultados.

O formato da bacia é um fator predominante na análise de sua tendência para inundações. No caso de uma bacia compacta e circular essa tendência é maior que em uma bacia estreita e alongada (SHAHIDIAN et al., 2017).

Collischonn e Dornelles (2015) afirmam que em uma comparação entre bacias com características de solo, de relevo, de vegetação e de declividade semelhantes, por exemplo, uma bacia com formato circular irá receber o escoamento de afluentes com intervalo de tempo próximos e isso causaria um volume maior de água concentrada nas partes mais baixas da bacia do que em uma bacia alongada.

2.2.2 Densidade de drenagem e declividade da bacia

Para definição da densidade de drenagem de uma bacia faz-se a soma dos comprimentos de todos os cursos d’água a ela pertencente e divide-se por sua área.

(COLLISCHONN e DORNELLES, 2015), conforme Equação 1. Trata-se de um índice que representa características da geologia, topografia, solo e vegetação do local, além de relacionar esses fatores com o tempo necessário para o escoamento superficial deixar a área da bacia (LIMA, 2008).

$$\lambda_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (1)$$

Em que:

λ_d = densidade de drenagem (km^{-1});

L_i = comprimento de cada rio (km) e

A = área da bacia hidrográfica (km^2).

A classificação desse parâmetro é:

- Pobre: λ_d < 0,5 km/km².
- Regular: 0,5 km/km² ≤ λ_d < 1,5 km/km².
- Boa: 1,5 km/km² ≤ λ_d < 2,5 km/km².
- Muito boa: 2,5 km/km² ≤ λ_d < 3,5 km/km².
- Excepcional: λ_d ≥ 3,5 km/km².

A declividade da bacia se relaciona com o processo erosivo, e consequentemente com a formação de voçorocas, pois é um fator ligado aos processos de infiltração, escoamento superficial, umidade do solo etc. e regula os tempos de duração do escoamento superficial (LIMA, 2008).

A declividade média pode ser encontrada pela Equação 2:

$$S = \frac{D \text{ x } L}{A} \text{ x } 100 \quad (2)$$

em que:

S = declividade média (%);

D = distância entre as curvas de nível (m);

L = comprimento total das curvas de nível (m) e

A = área da bacia hidrográfica (m^2).

2.2.3 Pedologia

A pedologia trata do estudo dos solos e suas características, que os tornam elementos singulares pela observação de sua morfologia, seu comportamento perante intempéries, sua formação e evolução (QUEIROZ NETO, 1984).

A observação de dados morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos juntamente com as condições locais como clima e vegetação permite que o solo seja categorizado em diferentes classes (EMBRAPA SOLOS, 2018). Essa categorização divide o solo em 6 níveis categóricos, sendo eles: 1º nível: ordens, 2º nível: subordens, 3º nível: grandes grupos, 4º nível: subgrupos, 5º nível: famílias e o 6º nível: séries (EMBRAPA SOLOS, 2018).

Para este trabalho é preciso conhecer o 1° nível que divide-se em 13 classes Organossolos, Neossolos, Vertissolos, Espodossolos, Planossolos, Gleissolos, Latossolos, Chernossolos, Cambissolos, Plintossolos, Luvissolos, Nitossolos e Argilossolos (LEPSCH, 2011). Mais especificamente, os Neossolos, Argissolos, Latossolos e Cambissolos serão parte relevante do trabalho e, de acordo com a EMBRAPA SOLOS (2018), têm-se as seguintes definições:

- Neossolos: são solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico.
- Argissolos: solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico na maior parte do horizonte B.
- Latossolos: solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura.
- Cambissolos: solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura) ou horizonte A chernozêmico quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta.

2.2.4 Uso do solo e cobertura vegetal

A forma com que o solo é manejado interfere diretamente nos escoamentos das bacias hidrográficas trazendo impactos ambientais e aumentando o escoamento médio local (TUCCI e CLARKE, 1997). A cobertura vegetal do solo age como objeto de desvios e obstáculos para a água precipitada, diminuindo sua velocidade de escoamento e possibilitando maiores infiltrações e evitando erosões no solo (TUCCI, 2001).

Mapear as formas com que o solo vem sendo utilizado é uma tarefa de suma importância, porém de grande complexidade devido às grandes e rápidas mudanças que o território, principalmente brasileiro, sofre em pequenos intervalos de tempo (RODRIGUES, 2019). Tucci e Clarke (1997) apresentam três formas de alterações sofridas pelas bacias hidrográficas quando se trata de uso e manejo de solo. A Tabela 1 mostra as classificações das alterações e o que as caracteriza.

Tabela 1: Classificação sobre a mudança e uso do solo (TUCCI e CLARKE, 1997).

Classificação	Tipo
Mudança de superfície	Desmatamento. Reflorestamento. Impermeabilização.
O uso da superfície	Urbanização. Reflorestamento para exploração sistemática. Desmatamento: extração de madeira, cultura de subsistência, culturas anuais, culturas permanentes.
Método de alteração	Queimada. Manual. Equipamentos.

2.3 Geoprocessamento

O INPE (2006) define o geoprocessamento como um conjunto de dados geográficos trabalhados a fim de obter-se informações do local de estudo para o fim a que se destina. O geoprocessamento prevê todas as etapas, desde a coleta ao armazenamento de dados.

Para se entender melhor os conceitos de geoprocessamento e como seus dados podem ser trabalhados, apresenta-se a seguir as definições de SIG e do *software* QGIS.

O sistema que permite o processamento dos dados geográficos é chamado Sistema de Informações Geográfica (SIG) e é alimentado com dados gráficos ou alfanuméricos voltados para análises e modelagens de superfícies (INPE, 2006).

O conceito de SIG é multidisciplinar e abrange diversas áreas do conhecimento, integrando dados que podem ser utilizados por profissionais de áreas variadas e permite, a elaboração, edição e impressão de mapas (IBGE, 2019) e a construção de modelos/análises espaciais. O SIG adota um sistema geodésico e no Brasil esse referencial é o SIRGAS2000 (IBGE, 2019).

O QGIS é um ambiente SIG, sendo ele um *software* livre em que se pode trabalhar com dados dos mais diversos formatos (IBGE, 2019). Além de suas ferramentas ele possui complementos que podem ser instalados de acordo com a necessidade de uso e são frequentemente atualizados (IBGE, 2019). O uso do QGIS permitiu o manuseio de dados de pedologia, uso de solo e mapas de divisões políticas de diferentes formatos, bem como associá-los de maneira a encontrar os resultados esperados.

Quanto ao sistema de coordenadas geográficas tem-se que, as projeções cartográficas têm como objetivo representar uma parcela ou a totalidade da superfície terrestre em um plano que, devido ao seu formato, gera nessas projeções algumas distorções. A escolha do melhor tipo de projeção a ser utilizado fica a cargo das necessidades que se quer mostrar (IBGE, 2019).

Dadas às diversas formas de representações existentes, aqui haverá foco apenas na projeção Universal Transversa de Mercator – UTM que é um sistema bastante adotado no Brasil em trabalhos cartográficos. A projeção UTM foi adotada durante todo processo de manipulação de mapas neste trabalho.

2.4 Modelagem hidrológica

O conceito de modelagem hidrológica parte da necessidade de se reproduzir de forma simulada determinados eventos hidrológicos em certo local de estudo com fidelidade suficiente para se entender os processos envolvidos no sistema. Os fenômenos ocorridos dentro de uma bacia são representados por dados matemáticos, equações e pelas características físicas do local (ENOMOTO, 2004).

Tucci (1998) apud Rodrigues (2019) ressalta os fatores que influenciam o tipo de modelo hidrológico conveniente para cada situação. Os fatores principais dizem respeito ao objetivo de estudo, dados existentes e características físicas da bacia estudada.

2.4.1 Equação Intensidade-Duração-Frequência

A equação IDF (intensidade-duração-frequência) é a forma de obter a intensidade da chuva relacionada com sua duração e sua frequência de ocorrência (TOMAZ, 2002). As curvas IDF trazem também o risco de a precipitação analisada ser igualada ou superada (TUCCI, 2001). É possível obter os dados de chuva por tempo em estações pluviométricas e/ou pluviográficas de acordo com o local que se deseja estudar.

Essa correlação permite observar que quanto maior for a intensidade de uma precipitação, menor será sua duração e, quanto menor for o risco de ela ser superada maior será a intensidade (TUCCI, 2001).

Para a obtenção da curva IDF é necessário, além dos dados anuais de precipitação, fazer ajustes de distribuições estatísticas para esses dados e usualmente são utilizadas as distribuições Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, Gumbel e Log-Normal para eventos extremos (BARBOSA JR, 2007).

2.4.2 Método do SCS

Em casos onde é necessário conhecer o ciclo hidrológico de uma região, o escoamento superficial é parte fundamental desse estudo e está relacionado à

capacidade que o solo tem de deixar com que a água escorra por sua superfície. A análise desse potencial pode ser feita pelo método do SCS (*Soil Conservation Service* - Serviço de Conservação do Solo, atualmente NRCS, *Natural Resources Conservation Service* – Serviço de Conservação dos Recursos Naturais) (SARTORI, NETO e GENOVEZ, 2005), as equações que o descrevem podem ser vistas na Figura 5.

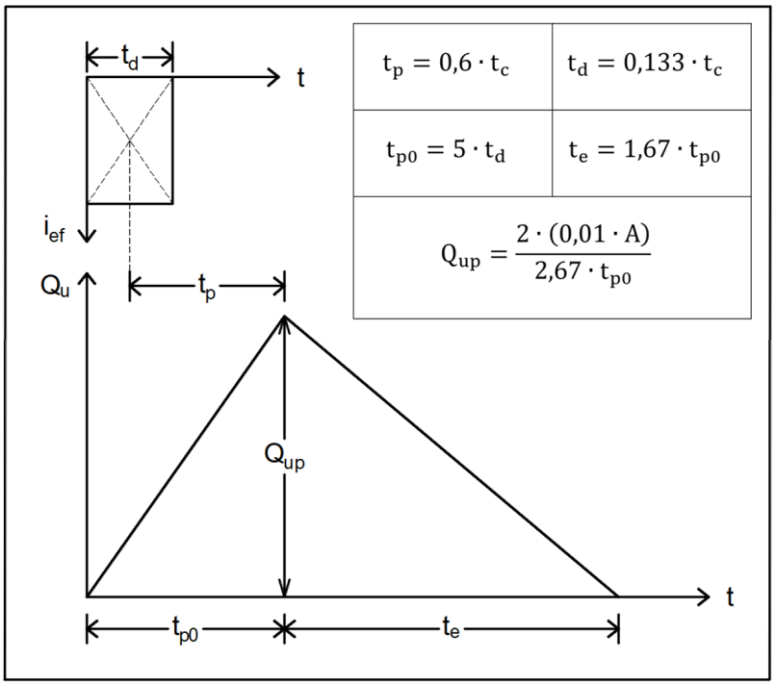


Figura 5: Hidrograma unitário do SCS e suas equações (Adaptado de BARBOSA JR, 2007).

Na Figura 5 tem-se: t_p é o tempo de retardo da bacia, t_c é o tempo de concentração da bacia, t_d é o tempo de duração da chuva efetiva unitária, t_{p0} é o tempo de ascensão do hidrograma, t_e é o tempo de recessão do hidrograma, sendo todos os tempos em horas, Q_{up} é a vazão unitária de pico em m³/s e A é a área da bacia em m². O t_c pode ser calculado por fórmulas empíricas que representem a bacia em questão, pelo método cinemático ou utilizando a formulação própria do método do SCS que é calcular primeiramente t_p pela Equação 3 e posteriormente encontrar t_c.

$$t_p = \frac{0{,}344 \cdot L^{0,8} \cdot (1000/CN - 9)^{0,7}}{S^{0,5}} \quad (3)$$

Em que:

t_p = tempo de retardo da bacia (h);

L = comprimento do rio principal (km);

CN = Curve Number (Número da Curva) (adimensional) e

S = declividade da bacia (%).

O método do SCS apresenta quatro grandes grupos de classificação do solo estadunidense com base na sua capacidade de escoamento, são eles A, B, C e D, e suas características são:

- Grupo A: pouco escoamento superficial e alta infiltração.
- Grupo B: menos permeáveis que o anterior, mas com permeabilidade superior à média.
- Grupo C: geram escoamento superficial acima da média; com capacidade de infiltração abaixo da média.
- Grupo D: geram a maior proporção de escoamento superficial.

Sartori, Neto, & Genovez (2005) trataram de adequar esses grupos para a realidade brasileira, classificando os solos encontrados no Brasil da seguinte maneira:

- Grupo A: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.
- Grupo B: Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; Latossolo Bruno; Nitossolo Vermelho; Neossolo Quartzarênico; Argissolo Vermelho ou Vermelho Amarelo de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
- Grupo C: Argissolo pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo e

Argissolo Amarelo, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; Cambissolo de textura média e Cambissolo Háplico ou Húmico, mas com características físicas semelhantes aos Latossolos; Espodossolos Ferrocárbico; Neossolo Flúvico.

- Grupo D: Neossolo Litólico; Organossolo; Gleissolo; Chernossolo; Planossolo; Vertissolo; Alissolo; Luvissolo; Plintossolo; Solos de Mangue; Afloramentos de Rocha; Demais Cambissolos que não se enquadram no Grupo C; Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Para o método do SCS é preciso definir o parâmetro CN (Número da Curva) que se relaciona com o uso e o tipo de solo e traz suas características físicas embutidas nesse valor (BARBOSA JR, 2007). Quanto maior o CN, menor a capacidade de armazenamento do solo da bacia.

A Tabela 2 mostra os valores de CN para uso e utilização do solo para bacias classificadas como rurais, enquanto a

Tabela 3 traz os mesmos valores para bacias urbanas.

Tabela 2: Valores de CN para bacias rurais (TUCCI, 2001).

RURAIS					
USO DO SOLO	**SUPERFÍCIE**	**A**	**B**	**C**	**D**
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curva de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos pemanentes	Muito esparsos, baixa transpiração	45	66	77	83
	Esparsos	36	60	73	79
	Normais	30	58	71	78
	Densos, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras/Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Normais	36	60	70	76
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69

Tabela 3: Valores de CN para bacias urbanas (TUCCI, 2001).

URBANAS					
UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO		**A**	**B**	**C**	**D**
Zonas cultivadas	sem conservação do solo	72	81	88	91
	com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios	em más condições	68	79	86	89
	em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais	com cobertura ruim	45	66	77	83
	com cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições	com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
ZONAS RESIDENCIAIS					
Lotes de (m²)	% média impermeável	**A**	**B**	**C**	**D**
<500	65	77	85	90	92
1.000	38	61	75	83	87
1.300	30	57	72	81	86
2.000	25	54	70	80	85
4.000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamentos, telhados, viadutos etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas	asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
	de paralelepípedos	76	85	89	91
	de terra	72	82	87	89

Estes valores são para a Condição de Umidade Antecedente II (em inglês *Antecedent Moisture Condition* – AMC) que a condição de umidade intermediária, quando se tem uma sequência de dias secos ou de dias chuvosos, essa condição se

altera para I e III, respectivamente. A AMC I é a situação em que os solos estão secos, na estação de crescimento da vegetação a precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é menor que 36mm e em outro período, menor que 13mm e a AMC III é a situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontra-se saturado, no período de crescimento da vegetação, a precipitação acumulada nos cinco dias anteriores é maior que 53mm e em outro período, maior que 28mm. Quando se faz modelagem hidrológica para inundação é importante considerar a AMC III. As Equações 4 e 5, apresentam a transformação do CN tabelado para as outras duas condições.

$$\mathrm{CN(I)} = \frac{4{,}2\mathrm{CN(II)}}{10 - 0{,}058\mathrm{CN(II)}} \tag{4}$$

$$\mathrm{CN(III)} = \frac{23\mathrm{CN(II)}}{10 + 0{,}13\mathrm{CN(II)}} \tag{5}$$

2.5 Topázio Imperial e garimpo ilegal

Em território brasileiro só é possível encontrar o Topázio Imperial na região de Ouro Preto – MG e a grande vantagem quanto à sua exploração no local é a sua presença em rochas já afetadas por intempéries, o que facilita sua remoção (GANDINI, 1994).

Ferreira (2002) apud Peixoto e Lima (2004) cita que o Topázio é conhecido e garimpado desde 1750. O garimpo de Topázio é uma atividade comum na região do Alto Maracujá, sendo feita de maneira legalizada e ilegalizada, essa última por garimpeiros individuais que buscam melhores condições econômicas devido ao alto valor do mineral (PEIXOTO e LIMA, 2004).

Peixoto e Lima (2004) ainda apresentam que as atividades garimpeiras possuem capacidade de modificar muito rapidamente o ambiente em que ocorrem, sendo notadas diferenças de cenários em uma semana, além de que não há padronização na exploração. As atividades garimpeiras são responsabilizadas por grandes impactos ambientais nos locais onde acontecem, principalmente quando se tratam de impactos na drenagem natural e nas vegetações de margem de rios (PEIXOTO e LIMA, 2004).

Em algumas regiões, a depender da forma de exploração e considerando que o material não deve ser danificado durante sua extração, jatos de água são jorrados no local para remover o material que ficará retido na peneira (CRUZ, 2017). Esta mesma autora ainda ressalta a recorrência de locais erodidos na região de mineração estudada.

Peixoto e Lima (2004) retratam o garimpo como uma atividade danosa ao meio ambiente e mostram como sua exploração afeta o local onde é trabalhado. Os autores citam que as atividades garimpeiras podem ser divididas em garimpo de margem e garimpo de leito. Ambas envolvem a remoção da camada vegetal do local e danificam o leito dos rios.

A Constituição de 1998 prevê, no Capítulo VI - Meio Ambiente, os responsáveis pelas atividades econômicas do ramo da mineração como obrigados a recuperar o ambiente degradado (MAGNA, 1988).

O PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas) é o instrumento composto de técnicas para recuperação (SILVA, CAMPAGNA e LIPP-NISSINEN, 2018). A vegetação tem papel importante na recuperação de áreas degradas, principalmente quando se trata da erosão do solo, pois suas raízes agem na resistência, coesão e infiltração do solo (MELO et al., 2013). Ainda, segundo Melo et al. (2013), é preciso ter cautela na escolha da vegetação adotada para a área a ser recuperada, visto que plantas muito altas com folhas maiores podem acabar por intensificar o processo de erosão.

2.5.1 Voçorocas e assoreamento de rios

O processo de erosão provoca a remoção de detritos do solo originados pelo intemperismo (BACELLAR, 2000). O processo de assoreamento de bacias está diretamente ligado aos processos de erosão e é quando ocorre a sedimentação do material carreado pelas chuvas, no fundo de cursos d’água (ALMEIDA, 2008).

As voçorocas são fenômenos causados pelo processo erosivo e recebem esse nome quando tratam de incisões no solo com dimensões acima de 0,5m de largura e profundidade e seu comprimento pode chegar até 30m (MACHADO, 2007); essa é uma das definições existentes para voçoroca, sendo que uma coletânea de outras

podem ser encontradas na dissertação de Pinto (2018), no item “2.3.1. Classificação das feições erosivas: Sulcos, Ravinas e Voçorocas”.

A área da bacia do rio Maracujá possui grande incidência de processos erosivos sendo que alguns são intensificados pelas atividades garimpeiras, principalmente voltadas ao garimpo de Topázio Imperial (ALMEIDA, 2008), além disso, ainda existem áreas degradadas com voçorocas causadas por outros motivos.

2.5.2 Legislação da atividade garimpeira

Historicamente a atividade garimpeira passou por diversas transformações no quesito regulamentação, sendo tratada ora como legal ora como ilegal. E por estar ligada às questões de vulnerabilidade ambiental, social e econômica, há a necessidade de se estabelecer formatos que possibilitem aos trabalhadores do garimpo exercer a atividade de forma segura, tanto para si quanto para o ambiente ao qual está instaurada (MACEDO et al., 2016).

Em 2 de junho de 2008 foi sancionada a lei nº 11.685 que estabelece diretrizes a respeito do trabalho no garimpo. A lei estabelece, entre outras especificações, que as áreas degradadas pela exploração garimpeira devem ser recuperadas (BRASIL, 2008). O que acontece, porém, é que a legislação é tida como confusa e com exigências que não atendem à realidade da atividade, sendo por vezes seletiva em sua aplicação e fomentando assim o trabalho por meios da ilegalidade (COSTA, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos de execução adotados por esse trabalho consistiram em análises de teses, dissertações e artigos para embasamento quanto ao estudo da degradação da cobertura natural do solo, da mineração e do garimpo local e uso de *softwares* para modelagem hidrológica, criação de mapas e análises georreferenciadas do local.

3.1 Caracterização da bacia

O primeiro passo para o trabalho foi caracterizar a bacia a ser trabalhada, encontrando pontos relevantes sobre sua forma, clima, localização, regimes de chuva e demais dados numéricos que descrevem o comportamento do local nos mais variados aspectos.

3.1.1 Localização, clima e vegetação

O rio Maracujá está localizado na bacia do Alto Curso do rio das Velhas, na região denominada Quadrilátero Ferrífero (ALMEIDA, 2008). O rio, com 46km de percurso, corta o distrito de Cachoeira do Campo na cidade de Ouro Preto – MG e recebe água dos córregos Cipó, Caxambu e Arranchador (PEIXOTO e LIMA, 2004).

A bacia do Alto Curso do rio das Velhas está inserida entre os meridianos -43°37’30” e -44°45’00” e os paralelos -20°14’30” e -20°25’30” e também banha os distritos de Amarantina, Santo Antônio do Leite e Glaura (BACELLAR, 2000).

Quanto ao clima, a região também conhecida como Quadrilátero Ferrífero possui, conforme classificação de Köppen, clima tropical de altitude (CWb), apresentando períodos secos ou úmidos bem definidos, com temperatura média de 20°C (FERREIRA, 2010).

Bacellar (2000) trata de aspectos geológicos do local definindo o tipo de substrato como fator que define o tipo de vegetação, sendo o local com quartzitos e itabiritos com solo delgado e vegetação de altitude. Ferreira (2010), se baseando no Diagnóstico Ambiental de Minas Gerais de 1983 (CETEC 1983), define a região do Quadrilátero Ferrífero, onde o rio Maracujá está incluído, como local de vegetação

com predominância de gramíneas, matas de galeria, Cerrados e áreas de reflorestamento.

3.1.2 Caracterização fisiográfica da bacia

O primeiro passo para o estudo consistiu em buscar mapas do distrito estudado de maneira que fosse possível sobrepô-los e obter informações relevantes para a continuidade do trabalho. O primeiro mapa utilizado trouxe as divisões do estado de Minas Gerais em distritos e foi retirado do portal IDE-SISEMA encontrado no endereço digital https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis. A IDE-SISEMA (Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos) apresenta em seu portal dados geoespaciais de projetos ambientais e recursos hídricos do SISEMA (RODRIGUES, 2019).

O segundo mapa foi retirado do portal TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil) e continha o MDE (Modelo Digital de Elevação) da área trabalhada, com a resolução espacial de 30 x 30 metros.

De posse dos dois mapas foi possível delimitar a área da bacia hidrográfica com o uso do *software* livre QGIS 3.22.5. O ponto definido como exutório foi arbitrado no *software* escolhendo-se o ponto de menor elevação mais próximo do limite do distrito no intuito de abranger apenas a área pertencente a ele.

É importante ressaltar que desde que inserido no *software* até o fim do trabalho com os mapas, o sistema de coordenadas utilizado foi o SIRGAS 2000/UTM Zone 23S, que é o datum oficial brasileiro desde 2015.

3.1.2.1 Pedologia

Após o processo de delimitação da bacia hidrográfica do local, buscou-se também pela plataforma IDE-SISEMA o mapa com os dados de pedologia do estado de Minas Gerais; o mapa utilizado foi o produzido por meio de convênios, entre a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) que realizaram amostragens e atualizaram a classificação dos solos

de MG para a versão mais recente do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA SOLOS, 2006), obtendo, em 2010, como resultado, o Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais na escala de 1:500.000. Ainda com o uso do *software*, recortou-se o mapa de pedologia apenas para área da bacia hidrográfica e encontraram-se os tipos de solos da área.

Da tabela de atributos gerada, foi possível perceber a existência de quatro tipos de solos na região da bacia. Para cada uma dessas identificações representadas no mapa existe uma legenda que o caracteriza conforme sua formação, essa legenda é encontrada no trabalho de Santos et al. (2016) intitulado como “O Novo Mapa de Solos do Brasil” e com base nela relacionaram-se os tipos de solos existentes na bacia com sua formação.

3.1.2.2 Uso do solo na região da bacia

Usando as imagens do satélite CBERS-4, foi feita a mesclagem para a composição colorida com as Bandas 1, 2, 3 e 4 (resolução espacial de 8 metros), através do *software* QGIS. Em seguida, com o auxílio da ferramenta *Pansharpening* da GDAL, realizou-se a fusão da composição colorida com a imagem PAN (2 metros de resolução espacial), para melhor visualização. Com a imagem fusionada, realizou-se através de uma *shape* de polígono a coleta de vetores, seguindo as seguintes classes:

1. Vegetação árborea.
2. Grama.
3. Pastagens/descampado/vegetação queimada.
4. Area construída.
5. Água.
6. Solo exposto (voçorocas).
7. Rochas (garimpo).

Com as classes determinadas e os vetores coletados, esses foram carregados, juntamente com a imagem fusionada no *plugin Dzetsaka: classification tool*, do QGIS, com o qual foi realizada a classificação supervisionada.

Dos diferentes usos de solo encontrados, uma pequena parcela está caracterizada como área artificial, portanto os passos trabalhados a frente levaram em consideração sua natureza como bacia rural.

3.1.2.3 Classificação hidrológica do solo

Ao longo do processo de caracterização dessa bacia, foi necessário relacionar a classificação de Sartori et al. (2005) com os tipos de solos encontrados e assim determinar em quais grupos, de acordo com Tucci (2001), os solos da bacia se encaixam. Após esse processo foi preciso relacionar a separação do solo em grupos de acordo com o seu uso e cobertura na bacia.

O mapa de uso e cobertura foi sobreposto com o dos tipos de solo e para cada área encontrou-se então o grupo a que pertence e como é sua ocupação. A tabela de atributos desses mapas continha valores de área dos grupos e a definição do quantitativo de cada grupo de solo para cada uso e ocupação existente nele.

3.1.3 Cálculo do CN

Para encontrar o parâmetro CN (Número da Curva), foi necessário utilizar a Tabela 2 e procurar, de acordo com o mapa, as equivalências de seu uso para áreas urbanas e rurais. Porém, para se ter uma relação mais precisa de como o uso encontrado se relaciona com a Tabela 2, utilizou-se a relação encontrada no “Adendo à Nota Técnica nº 46/2018/SPR/ANA” (ANA, 2018) apresentada na Tabela 4.

De posse das áreas de cada sub-região conforme seu solo e uso e cobertura e empregando a Tabela 4 utilizou-se a média ponderada para encontrar o CN médio da bacia da forma como representa a Equação 6:

$$\mathrm{CN_{médio}} = \frac{\mathrm{A_1 x\ CN_1} + \mathrm{A_2\ x\ CN_2} + \cdots + \mathrm{A_n x\ CN_n}}{\mathrm{A_{bacia}}} \quad (6)$$

onde:

A_i = área referente à sub-região i, com i = 1, 2, ..., n (km²);

A_{bacia} = área total da bacia (km²) e

CN_i = CN referente à sub-região i, com i = 1, 2, ..., n (adimensional).

O mesmo método foi utilizado para calcular o CN dos dois cenários propostos, caso a bacia fosse revegetada conforme explicação no item 3.2.

Tabela 4: Correspondências entre as classes de Tucci (2001) e IBGE (2013) retirada do Adendo à Nota Técnica nº 46/2018/SPR/ANA (Adaptado de ANA, 2018).

ANA CN (2018)	Tucci CN (2001) – Equivalente
Área Artificial	Solo classe hidrológica D para Zonas industriais (bacias urbanas)
Área Agrícola	Plantações regulares terraceado em nível (bacias rurais)
Pastagem com Manejo	Pastagens boas em curvas de nível (bacias rurais)
Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais	Média entre florestas muito esparsas, baixa transpiração e plantações regulares terraceado em nível (bacias rurais)
Silvicultura	Florestas densas, alta transpiração (bacias rurais)
Vegetação Florestal	Florestas normais (bacias rurais)
Mosaico de Vegetação Florestal com Atividade Agrícola	Média entre florestas densas, alta transpiração e plantações regulares terraceado em nível (bacias rurais)
Vegetação Campestre	Campos permanentes normais I (bacias rurais)
Área Úmida	Classe não existente em Tucci (2001)
Pastagem Natural	Campos permanentes normais II (bacias rurais)
Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Campestres	Média entre campos permanentes normais I e plantações regulares terraceado em nível (bacias rurais)
Corpo d'Água Continental	Classe não existente em Tucci (2001)
Corpo d'Água Costeiro	Classe não existente em Tucci (2001)
Área Descoberta	Chácaras/Estradas de terra de superfície dura (bacias rurais)

3.1.4 Cálculo do tempo de concentração

Silveira (2005) tratou de analisar as fórmulas mais usuais de tempo de concentração para entender sua aplicabilidade em cada caso específico. No caso deste trabalho, considerando a bacia rural e os dados de área da bacia, declividade e comprimento do rio principal obtidos no *software* QGIS, as fórmulas mais adequadas, levando em conta seu desempenho, foram Ven-Te-Chow (Equação 7) e Corps of Engineers (Equação 8):

$$t_{c_{Corps_of_Engineers}} = 0{,}191 \text{ x } L^{0,76} \text{ x } S^{-0,19} \quad (7)$$

$$t_{c_{Ven-Te-Chow}} = 0{,}160 \text{ x } L^{0,64} \text{ x } S^{-0,32} \quad (8)$$

onde:

t_c = tempo de concentração da bacia (h);

L = comprimento do rio principal (km) e

S = declividade da bacia (m/m).

3.2 Simulação de cenários

Para entender o comportamento da bacia após uma possível intervenção voltada para recuperação de áreas degradas pela pastagem desordenada e pela mineração, fez-se a simulação de dois cenários de áreas revegetadas. Existem outros métodos de recuperação de áreas degradas no caso da mineração que, normalmente, são aplicados em conjunto, sendo eles: revegetação, obras geotécnicas e remediação (BITAR, 1997). Este trabalho irá se ater apenas ao método de revegetação. Melo (2013) destaca a importância de iniciar os trabalhos de revegetação com gramíneas, ressaltando o volume de raízes superior ao de parte aérea e outros aspectos de interesse, como, por exemplo, demanda menor de nutrientes do solo, e rápida cobertura.

Para o Cenário 1, propôs-se que 100% da classe Pastagens/Descampado/Vegetação queimada fosse substituída por “Pastagem com manejo (pastagem plantada)” na classificação de Teixeira (2017). Para o Cenário 2, manteve-se a mudança proposta no Cenário 1 e acrescentou-se a substituição de 50% das classes Solo exposto/Voçorocas (Área descoberta) e Rocha

exposta/Garimpo/Asfalto por plantação de Eucaliptos, vegetação que foi enquadrada em Florestas normais. Novos CN's foram calculados considerando os diferentes usos e coberturas propostos para a recuperação da área.

3.3 Equação IDF

A estação pluviométrica de Cachoeira do Campo não possui dados suficientes para determinar uma equação IDF que seja representativa estatisticamente. Portanto, a estação utilizada para obtenção dos dados de chuva foi a Fazenda Água Limpa Jusante, localizada no distrito de Glaura, devido à proximidade com o distrito de Cachoeira do Campo e a semelhança de regimes climáticos entre os dois locais. Os dados foram retirados do portal HIDROWEB no site https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas e o código da estação é 02043056.

Após baixar a série histórica e organizar os registros por ano hidrológico (para o Sudeste brasileiro, ele inicia em setembro e termina em outubro do ano seguinte), selecionou-se apenas a maior chuva diária por ano e dispuseram-se os dados na Tabela 5 em ordem cronológica. Esses dados foram reorganizados de maneira que ficassem em ordem decrescente, assim foi possível realizar o procedimento para obtenção da equação IDF que foi todo realizado no Excel. Em seguida aplicaram-se os passos listados a seguir de acordo com o procedimento encontrado em Gandini (2016).

Tabela 5: Dados da estação pluviométrica por ano hidrológico (AUTORA, 2022).

Ano	P máx (mm)	Ano	P máx (mm)
1984 a 1985	74,4	2002 a 2003	59,3
1985 a 1986	74,0	2003 a 2004	69,0
1986 a 1987	57,2	2004 a 2005	62,1
1987 a 1988	92,3	2005 a 2006	69,5
1988 a 1989	39,3	2006 a 2007	51,5
1989 a 1990	76,2	2007 a 2008	58,7
1990 a 1991	74,2	2008 a 2009	60,7
1991 a 1992	75,2	2009 a 2010	67,7
1992 a 1993	90,3	2010 a 2011	92,5
1993 a 1994	50,0	2011 a 2012	110,2
1994 a 1995	55,0	2012 a 2013	49,7
1995 a 1996	99,0	2013 a 2014	41,3
1996 a 1997	89,4	2014 a 2015	66,5
1997 a 1998	52,3	2015 a 2016	48,5
1998 a 1999	54,0	2016 a 2017	50,0
1999 a 2000	105,5	2017 a 2018	72,5
2000 a 2001	86,7	2018 a 2019	42,7
2001 a 2002	66,3	2019 a 2020	41,0

Foram aplicados os testes de *outliers* de Grubbs (1969) e de Grubbs e Beck (1972) no intuito de identificar dados muito altos ou muito baixos que poderiam prejudicar a análise dos dados, as equações de ambos os testes estão listadas a seguir (GANDINI, 2016). Para esse trabalho consideraram-se, nos dois métodos, parâmetros com significância de 10%.

O critério de teste, T_n, recomendado por Grubbs (1969) para um único *outlier* é dado pela Equação 9; ao passo que, se x_1, em vez de x_n é o valor duvidoso, o critério é dado por T_1, obtido pela Equação 10. O valor é considerado *outlier* se T_n ou T_1 for menor do que $T_{crítico}$:

$$T_n = \frac{(x_n - \bar{x})}{\sigma} \quad (9)$$

$$T_1 = \frac{(\bar{x} - x_1)}{\sigma} \quad (10)$$

em que $\bar{x}$ é a média aritmética de todos os n valores e σ é a estimativa do desvio padrão da população com base nos dados da amostra, calculada com $n - 1$ graus de liberdade pela Equação 11:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (11)$$

O teste de Grubbs e Beck (1972), sugere as seguintes fórmulas para identificar pontos atípicos:

$$x_H = \exp(\bar{x} + T_{crítico}\sigma) \quad (12)$$

$$x_L = \exp(\bar{x} - T_{crítico}\sigma) \quad (13)$$

em que $\bar{x}$ e σ são a média e o desvio padrão dos logaritmos naturais da amostra, respectivamente. Valores de amostra maiores que x_H e menores que x_L são considerados valores de *outliers* superiores e valores de *outliers* inferiores, respectivamente. Os valores de $T_{crítico}$ para ambos os testes, para os níveis de significância de 10%, 5%, 2,5%, 1%, 0,5% e 0,1% são tabelados.

Após a análise de *outlier*, o passo seguinte consistiu em analisar à qual distribuição a série estudada melhor se adequava. As distribuições analisadas foram Log-Normal, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, Gumbel Teórica e Gumbel Finita.

Para entender qual curva gerada foi a mais adequada fez-se uma análise visual focando nos pontos de extremidade de máximos, pois trata-se de dados voltados para análise de inundações. Também foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov no intuito de verificar se a distribuição escolhida visualmente estava aceitável. Gandini (2016) mostra a importância de se complementar o teste de aderência com a análise visual, já que o teste de Kolmogorov-Smirnov é aplicado à totalidade da série. Para o teste anteriormente citado utilizaram-se as Equações 14 e 15:

$$D = \max_{-\infty < x < \infty} |S_N(x) - P(x)| \quad (14)$$

$$P_{KS}(z) = \frac{\sqrt{2\pi}}{z} \sum_{j=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{(2j-1)^2\pi^2}{8z^2}\right) \quad (15)$$

sendo,

$S_N(x)$ = conjunto de dados;

$P(x)$ = função distribuição cumulativa;

$D_{máx}$ = valor máximo da diferença absoluta entre duas funções de distribuições cumulativas e

$P_{KS}(z)$ = função de probabilidade cumulativa para z positivo, quando z é definido pela Equação 16, (p-Valor para o teste de Kolmogorov-Smirnov).

$$z = \left(\sqrt{N_e} + 0{,}12 + \frac{0{,}11}{\sqrt{N_e}}\right) x\, D_{máx} \quad (16)$$

Em que N_e é o número efetivo de pontos, que para uma distribuição contínua é o número de pontos experimentais.

A distribuição teórica é aceita para representar a amostra quando o $D_{máx}$ é menor que o $D_{crítico}$ para o nível de significância (α) escolhido, neste trabalho adotou-se 10%. De acordo com Stephens (1974), para o nível de significância de 10%, existe a aproximação dada pela Equação 17, para o cálculo do $D_{crítico}$:

$$D_{crítico} = \frac{1{,}224}{\sqrt{N} + 0{,}12 + 0{,}11/\sqrt{N}} \quad (17)$$

onde N é o tamanho da amostra. Para outros níveis de significância pode-se consultar tabelas como a que se encontra, por exemplo, no trabalho de Pinto et al. (1976).

Após a definição da curva de distribuição mais adequada ao caso, foi utilizada a equação de Ven-Te-Chow para determinar as chuvas de 1 dia para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 75 e 100 anos. Com isso foi possível calcular as intensidades e organizá-las por tempo de recorrência e diferentes tempos de duração, utilizando os coeficientes de desagregação (OCCHIPINTI e SANTOS 1966; CETESB,

1980) para transformar a chuva de 1 dia em chuvas de 5, 10, 15, 20, 25, 30 minutos e 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 24 horas.

Com o uso da ferramenta Solver no Excel foi possível fazer a regressão não linear do conjunto de dados: Tempo de Recorrência (Tr), Tempo de Duração (td) e Intensidade (i) e obter os parâmetros K, m, c e n que juntos compõem a equação IDF. De posse desses valores foi possível encontrar novos valores de intensidade e verificar se a equação encontrada representava bem o conjunto de dados ou não, por meio da análise do erro relativo médio.

3.4 Hietogramas

O procedimento para obtenção dos hietogramas foi feito em Excel utilizando o método dos blocos alternados. Foram gerados hietogramas para tempos de retorno de 10 anos, 50 anos e 100 anos que abrangem valores aplicados a micro e macrodrenagem. Para cada tempo de retorno utilizaram-se três parâmetros CN relativos à AMC II e três relativos à AMC III, sendo cada um dos três valores relacionados ao Cenário atual, ao Cenário 1 e ao Cenário 2.

O tempo de concentração calculado para a bacia estudada, foi utilizado no cálculo dos hietogramas arredondando para um número inteiro para melhor distribuição dos blocos. Com base nesse dado, os parâmetros utilizados na equação IDF foram os gerados para o intervalo de 60 minutos a 1.440 minutos, até o tempo de 60 minutos e para os demais, usou-se a equação para o intervalo de 60 minutos a 1.440 minutos. Estes parâmetros estão divididos entre os intervalos de 5 minutos a 60 minutos e 60 minutos a 1.440 minutos para mitigar os erros gerados pelas diferenças de tendências das chuvas de pequenas e de grandes durações.

3.5 Hidrogramas

Os hidrogramas foram obtidos com o uso do *software* Excel. Os dados necessários são: área da bacia em quilômetros quadrados, tempo de concentração em horas, parâmetro CN e os dados de intensidade da chuva, em milímetros por hora, com os incrementos de precipitação do hietograma.

Para cada um dos cenários (Atual, 1 e 2) utilizaram-se três tempos de retorno diferentes. É necessário calcular o tempo para atingir a vazão unitária de pico bem como ela própria, conforme as equações de t_{p0} e Q_{up}, respectivamente, apresentadas na Figura 5. Caso o hidrograma unitário (HU) calculado seja para um t_d diferente do tempo de duração definido para cada bloco do hietograma, é necessário fazer a conversão do HU para este tempo definido (em termos práticos, de acordo com Linsley Jr, Kohler & Paulhus (1975), não há necessidade de fazer essa conversão caso a diferença entre os tempos seja menor do que 25%). Para obtenção do hidrograma do escoamento superficial é necessário multiplicar o HU pelas precipitações efetivas, deslocando o hidrograma original, conforme início da precipitação efetiva de ordem i.

4 RESULTADOS

4.1 Delimitação da bacia

Com o uso do *software* QGIS foi possível obter o traçado do contorno da bacia que se localiza dentro do distrito de Cachoeira do Campo, recorte desse estudo, e o valor dos parâmetros que a caracterizam fisicamente. O ponto de menor elevação apresentou um valor de altitude de 945 metros, sendo este escolhido para o traçado da bacia que tem área de 30,822 km². A Figura 6 mostra seu traçado em relação ao distrito de Cachoeira do Campo, na cidade de Ouro Preto e é possível notar sua forma alongada e mais estreita.

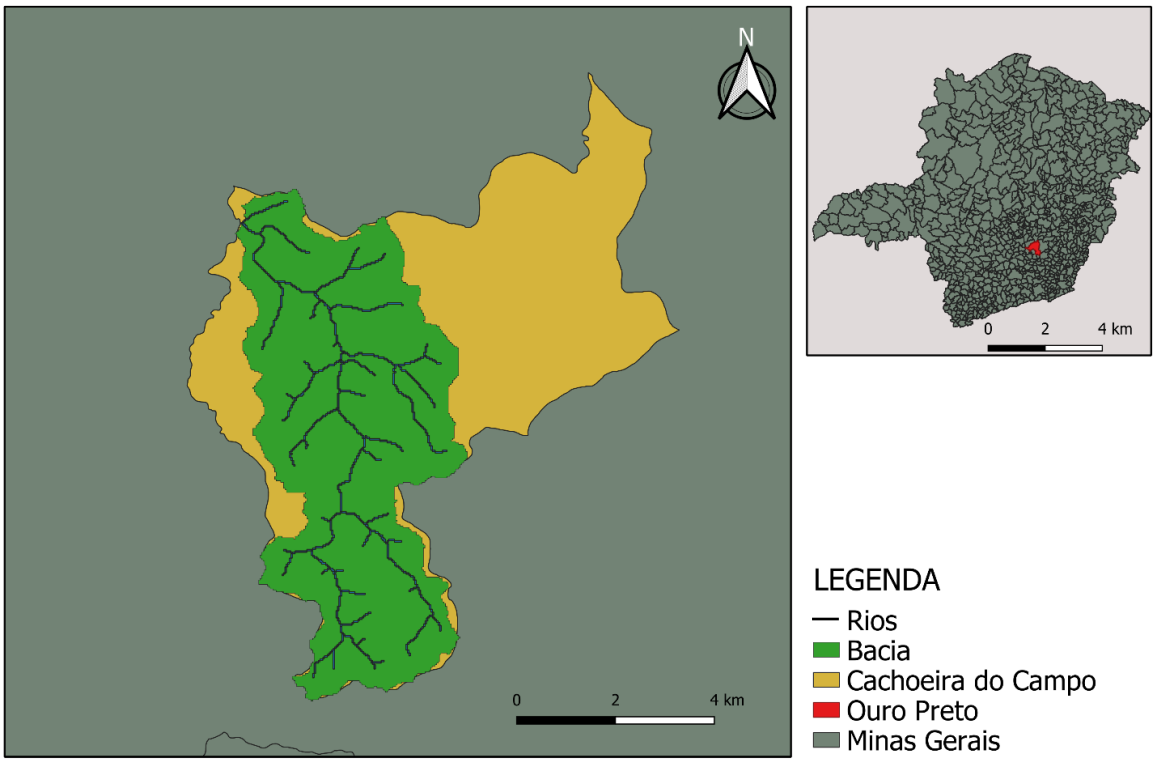


Figura 6: Localização da bacia estudada (AUTORA, 2022).

4.2 Mapa pedológico

Os solos encontrados no local foram identificados como CXbd1, Cxbd29, LVAd1 e RLd4, sendo a parcela de CXbd29 quase imperceptível na visualização do mapa gerado. A divisão da bacia em tipos de solo pode ser observada na Figura 7.

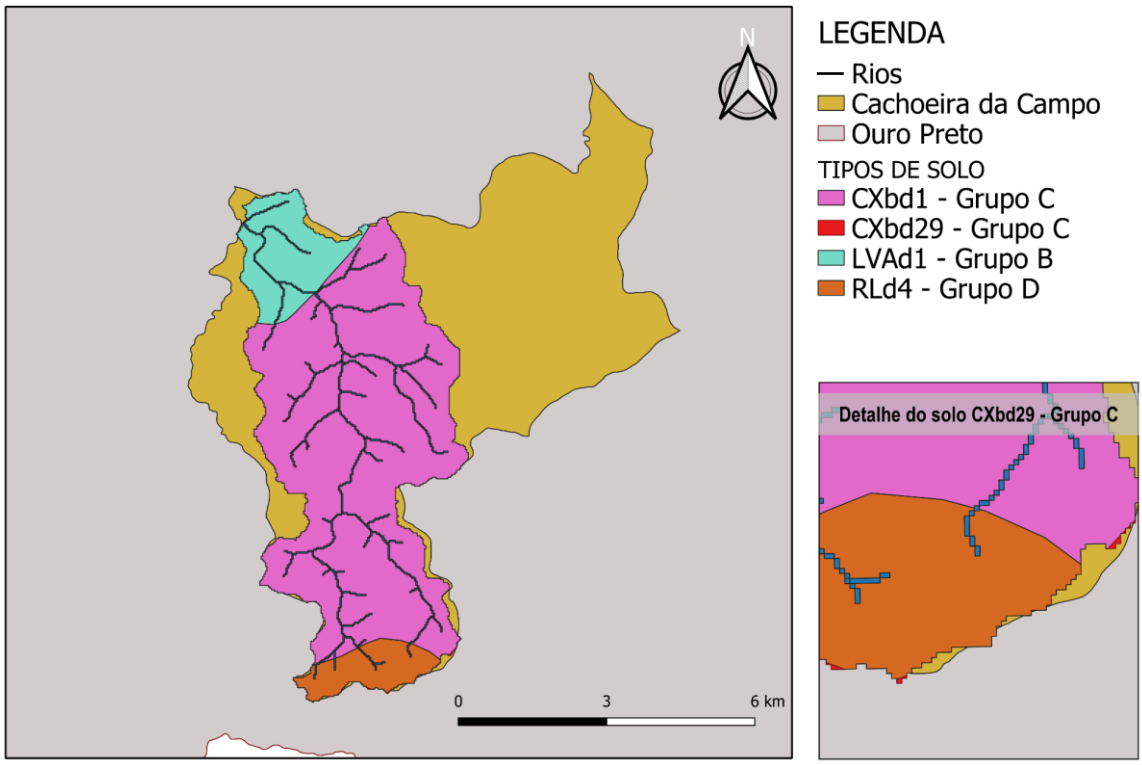


Figura 7: Pedologia da bacia (AUTORA, 2022).

A relação entre os tipos de solo da tabela de atributos, com os grupos de solo da classificação de Sartori, Neto, & Genovez (2005) e a classe de acordo com a legenda do “Novo Mapa de solos do Brasil” de Santos (2011) está condensada na Tabela 6.

Tabela 6: Classificação dos solos encontrados na bacia estudada (AUTORA, 2022).

TIPO	GRUPO	NOME
RLd4	D	Neossolos Litólicos Distróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos
LVAd1	B	Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos
CXbd29	C	Cambissolos Háplicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Eutróficos + Afloramentos de Rochas
CXbd1	C	Cambissolos Háplicos Tb Distróficos

4.3 Ocupação do solo

A obtenção das relações de uso do solo na região foi gerada pelo QGIS e apresentou as ocupações representadas nas Tabelas 7, 8 e 9 distribuídas por grupo de solo, sua área em metros quadrados e a porcentagem que determinada classe representa em relação a área total.

Tabela 7: Uso do solo para o grupo B (LVAd1) (AUTORA, 2022).

Uso e ocupação	Área (m²)	Área relativa (%)
Vegetação florestal	1.756.750,82	5,70
Capim (Vegetação campestre)	218.647,47	0,71
Pastagens/Descampado/Vegetação queimada	1.169.398,36	3,79
Área construída	147.852,65	0,48
Água	17.194,48	0,06
Solo exposto/Voçorocas (Área descoberta)	82.592,30	0,27
Rochas exposta/Garimpo/Asfalto	405.983,76	1,32

Tabela 8: Uso do solo para o grupo C (CXbd1 e CXbd29) (AUTORA, 2022).

Uso e ocupação	Área (m²)	Área relativa (%)
Sem informações	40,01	0,00
Vegetação florestal	7.990.306,15	25,92
Capim (Vegetação campestre)	770.047,20	2,50
Pastagens/Descampado/Vegetação queimada	13.613.277,17	44,17
Área construída	495.502,57	1,61
Água	93.363,10	0,30
Solo exposto/Voçorocas (Área descoberta)	529.809,70	1,72
Rochas exposta/Garimpo/Asfalto	1.498.907,64	4,86

Tabela 9: Uso do solo para o grupo D (RLd4) (AUTORA, 2022).

Uso e ocupação	Área (m²)	Área relativa (%)
Vegetação florestal	307.352,23	1,00
Capim (Vegetação campestre)	43.195,92	0,14
Pastagens/Descampado/Vegetação queimada	1.452.306,63	4,71
Área construída	25.106,96	0,08
Água	25.313,34	0,08
Solo exposto/Voçorocas (Área descoberta)	10.528,61	0,03
Rochas exposta/Garimpo/Asfalto	168.656,41	0,55

Os limites dos grupos e o uso do solo foram representados também no mapa que está no Apêndice A. Há de se destacar em relação à quantidade de água encontrada que existem pequenas lagoas artificiais para sedimentação de rejeitos de atividades minerárias e que a mata ciliar tampa alguns rios, então uma coisa compensa a outra na quantificação da área dessa classe.

4.4 Cálculo do CN

Para encontrar o CN da bacia, utilizou-se a Tabela 2, dado que a bacia se caracteriza predominantemente por áreas rurais. Para relacionar os grupos de solos e o uso e ocupação do solo apresentado nas tabelas anteriores com as classificações da Tabela 2 foi preciso elencar os dados do "Adendo a Nota Técnica nº 46/2018/SPR/ANA" (ANA, 2018) e fazer as devidas comparações para se ter as equivalências de CN. Esse procedimento está aglutinado na Tabela 10.

Tabela 10: Uso e ocupação na bacia e sua equivalência para os dados da tabela de CN de Tucci (2001) (AUTORA, 2022).

Uso e ocupação	Equivalência com Tucci (2001)
Sem informações	Obs.: foi usado 1 por ser o valor mínimo; devido a área insignificante, 1 ou 100 não faz diferença.
Vegetação florestal	Florestas normais (bacias rurais)
Capim (Vegetação campestre)	Campos permanentes normais (bacias rurais)
Pastagens/Descampado/Vegetação queimada	Pastagens ou terrenos em más condições (bacias urbanas)
Área construída	Solo classe hidrológica D para Zonas industriais (bacias urbanas)
Água	Valor máximo do CN, pois já é o próprio escoamento
Solo exposto/Voçorocas (Área descoberta)	Chácaras/Estradas de terra de superfícies duras (bacias rurais)
Rochas exposta/Garimpo/Asfalto	Solo classe hidrológica D para Zonas industriais (bacias urbanas)

As Tabelas 11 e 12 apresentam os valores dos CN de cada classe para a AMC II e III, respectivamente.

Tabela 11: CN da condição AMC II de cada sub-região (AUTORA, 2022).

Uso e ocupação	Grupo hidrológico		
	B	C	D
Sem informações	1	1	1
Vegetação florestal	60	70	76
Capim (Vegetação campestre)	58	71	78
Pastagens/Descampado/Vegetação queimada	79	86	89
Área construída	93	93	93
Água	100	100	100
Solo exposto/Voçorocas (Área descoberta)	84	90	92
Rochas exposta/Garimpo/Asfalto	93	93	93

Tabela 12: CN da condição AMC III de cada sub-região (AUTORA, 2022).

Uso e ocupação	Grupo hidrológico		
	B	C	D
Sem informações	2,3	2,3	2,3
Vegetação florestal	77,5	84,3	87,9
Capim (Vegetação campestre)	76,1	84,9	89,1
Pastagens/Descampado/Vegetação queimada	89,6	93,4	94,9
Área construída	96,8	96,8	96,8
Água	100,0	100,0	100,0
Solo exposto/Voçorocas (Área descoberta)	92,4	95,4	96,4
Rochas exposta/Garimpo/Asfalto	96,8	96,8	96,8

Para o Cenário 1, foi feita a substituição total da classificação Pastagens/Descampado/Vegetação queimada por Pastagem com manejo, pois entende-se que tais áreas podem ser melhores manejadas, a fim de não mais apresentaram situações de descaso e abandono. Para o Cenário 2, adicionou-se à alteração feita no Cenário 1, a plantação de Eucalipto em 50% das classes Solo exposto/Voçorocas (Área descoberta) e Rochas exposta/Garimpo/Asfalto. A Tabela

13, apresenta os CN's para a revegetação proposta, enquanto a Tabela 14 apresenta o valor do CN médio ponderado para todos os cenários.

Tabela 13: CN para os usos e ocupação escolhidos para a revegetação (AUTORA, 2022).

Uso e ocupação	Equivalência com Tucci (2001)	AMC	Grupo hidrológico		
			B	C	D
Pastagem com manejo	Pastagens boas em curvas de nível (bacias rurais)	II	35	70	79
		III	55,3	84,3	89,6
Eucalipto	Florestas normais	II	60	70	76
		III	77,5	84,3	87,9

Tabela 14: CN médio para cada cenário e AMC (AUTORA, 2022).

Cenários	AMC	
	II	III
Atual	80,31	90,03
1	71,10	84,46
2	69,87	83,77

4.5 Tempo de concentração

De posse dos dados obtidos pelo QGIS e aplicando-os nas equações de tempo de concentração escolhidas (equações para bacias rurais e área menor que 12.000km², que é o caso da região em estudo), obtiveram-se os seguintes resultados para tempo de concentração.

$$t_{c_{Corps_of_Engineers}} = 0{,}191 \text{ x } 11{,}88^{0{,}76} \text{ x } 0{,}13254^{-0{,}19} = 1{,}84 \text{ horas} \quad (18)$$

$$t_{c_{Ven-Te-Chow}} = 0{,}160 \text{ x } 11{,}88^{0{,}64} \text{ x } 0{,}13254^{-0{,}32} = 1{,}49 \text{ horas} \quad (19)$$

Para dar seguimento ao trabalho considerou-se a média desses dois tempos de concentração, que em seguida foi transformado em minutos. Foi encontrado o valor médio de 99,849 minutos que, para os cálculos necessários, adotou-se a aproximação para 100 minutos.

4.6 Equação IDF

Com o uso do *software* Excel, fizeram-se os procedimentos descritos no item 3.3 para determinação dos parâmetros das equações IDF's de acordo com os dados extraídos da estação pluviométrica utilizada e obtiveram-se os resultados apresentados nos sub-tópicos a seguir.

4.6.1 Teste de *outlier*

Neste trabalho considerou-se que para um dado ser excluído da observação era preciso que ele fosse identificado como *outlier* nos dois testes, Grubbs (1969) e de Grubbs e Beck (1972). Nos dois testes não houve observação de pontos de *outlier*, como pode ser observado nos resultados da Tabela 15, portanto não se excluiu nenhum dado da série analisada.

Tabela 15: Resultados dos testes de *outlier* (AUTORA, 2022).

Precipitação	Máxima	2ª maior	2ª menor	Mínima
Tamanho da amostra	36	36	36	36
Valor	110,2	105,5	41	39,3
T	2,275	2,026	1,399	1,490
T_{cri} a = 10%	2,639	2,639	2,639	2,639
Resultado Grubbs	Não é *outlier*	Não é *outlier*	Não é *outlier*	Não é *outlier*
$X_H/X_H/X_L/X_L$	135,037	135,037	31,168	31,168
Resultado Grubbs e Beck	Não é *outlier*	Não é *outlier*	Não é *outlier*	Não é *outlier*
Resultado Final	Não é *outlier*	Não é *outlier*	Não é *outlier*	Não é *outlier*

4.6.2 Distribuição estatística de probabilidade

Os gráficos gerados para cada distribuição estatística foram analisados por meio de análise visual e pelo p-Valor do teste Kolmogorov-Smirnov conforme detalhado no item 3.3, que pode ser observado na Tabela 16, sendo possível estabelecer que a distribuição Gumbel Finita foi a que mais se adequou ao se considerar a proximidade dos pontos externos da extremidade final e como eles se aproximam da linha dos valores teóricos e o menor p-Valor.

Tabela 16: Parâmetros do teste K-S e p-Valor para as distribuições adotadas (AUTORA, 2022).

Distribuição	$D_{máx}$	$D_{crítico}$ (N = 36 e α = 10%)	$D_{máx}$ é menor que $D_{crítico}$?	p-Valor
Log-Normal	0,0740	0,1994	SIM	0,0139
Pearson tipo III	0,0721	0,1994	SIM	0,0104
Log-Pearson tipo III	0,0740	0,1994	SIM	0,0139
Gumbel Teórica	0,0826	0,1994	SIM	0,0409
Gumbel Finita	0,0675	0,1994	SIM	0,0046

Os gráficos plotados estão representados para distribuição Log-Normal (Figura 8), Pearson tipo III (Figura 9), Log-Pearson tipo III (Figura 10), Gumbel Teórica (Figura 11) e Gumbel Finita (Figura 12).

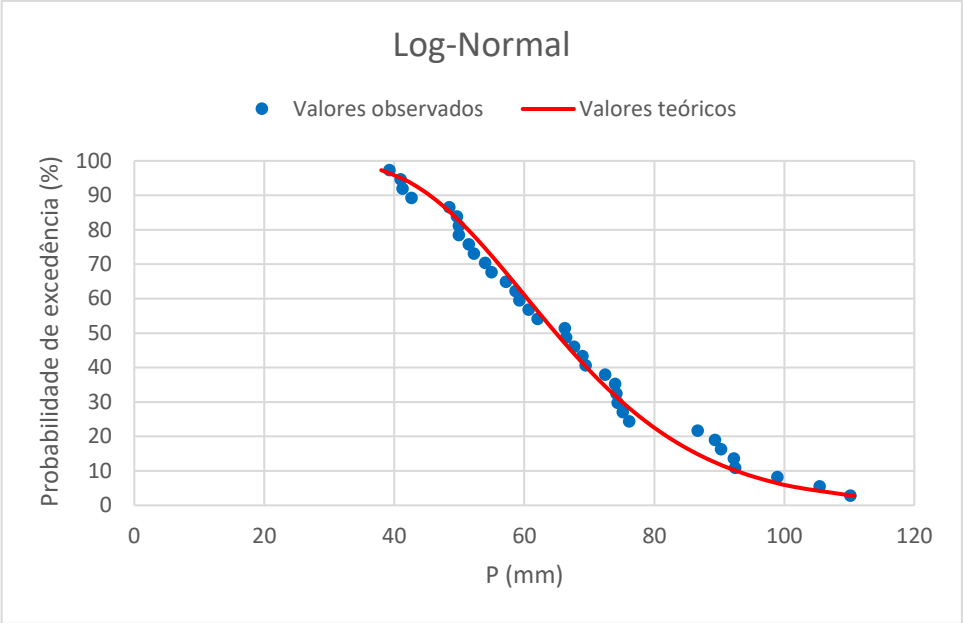


Figura 8: Gráfico da distribuição Log-Normal (AUTORA, 2022).

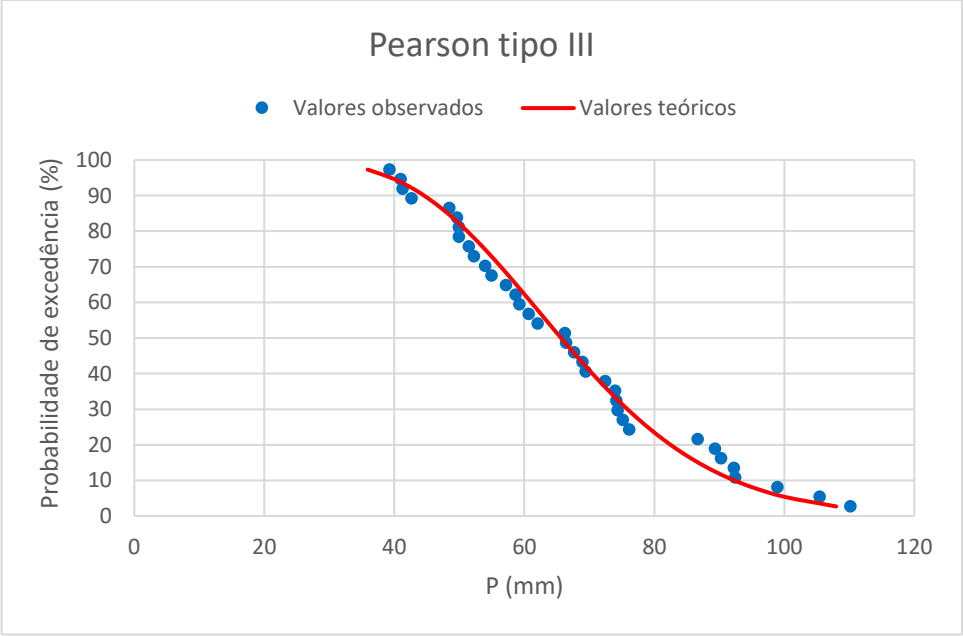


Figura 9: Gráfico da distribuição Pearson tipo III (AUTORA, 2022).

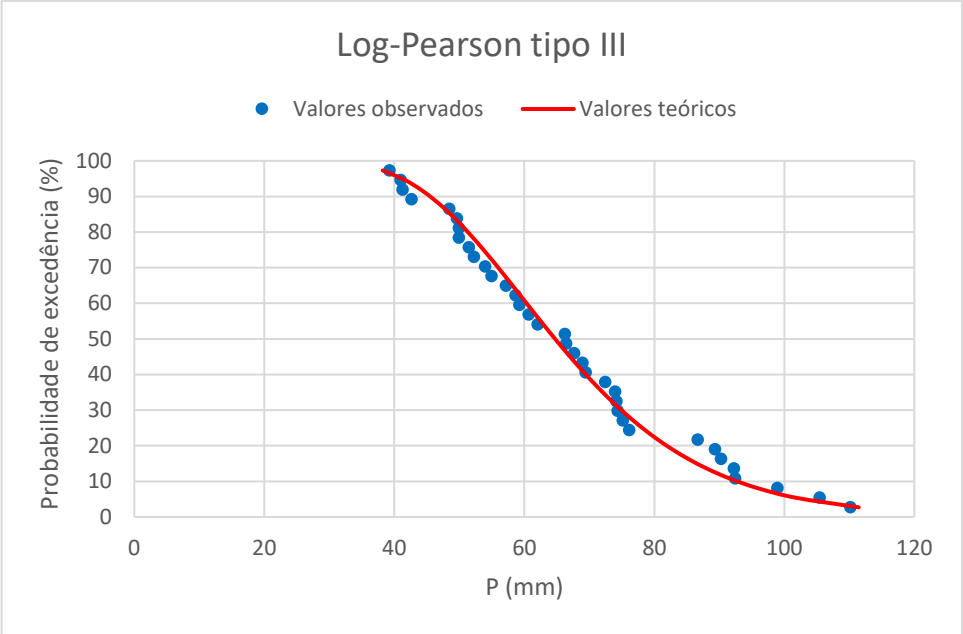


Figura 10: Gráfico da distribuição Log-Pearson tipo III (AUTORA, 2022).

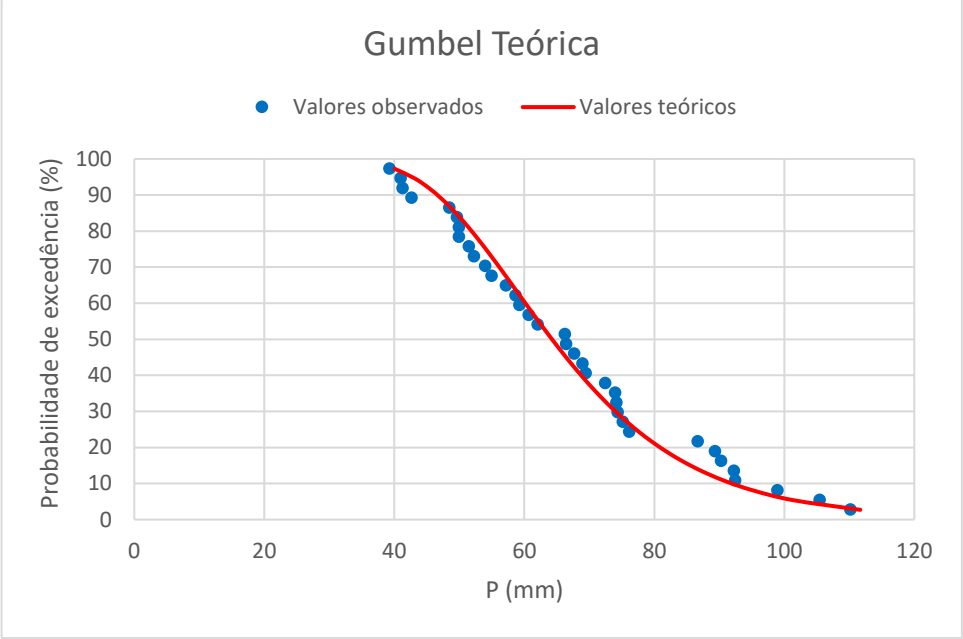


Figura 11: Gráfico da distribuição Gumbel Teórica (AUTORA, 2022).

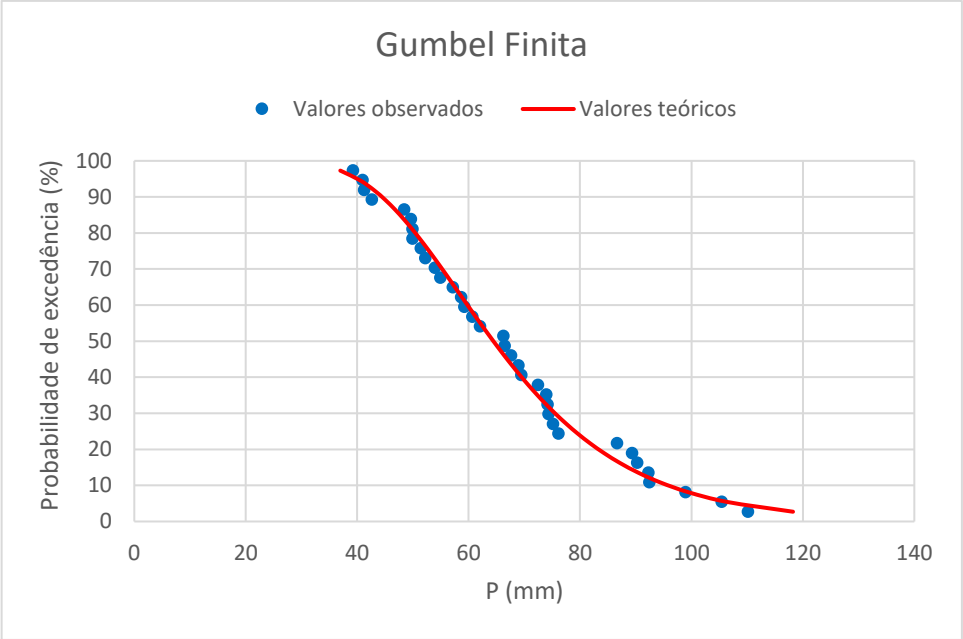


Figura 12: Gráfico da distribuição Gumbel Finita (AUTORA, 2022).

4.6.3 Parâmetros de ajuste da curva

Após executar a função Solver do Excel, encontraram-se os parâmetros de calibração da equação para os intervalos de 5 minutos a 60 minutos e 60 minutos a 1.440 minutos, representados nas Equações 20 e 21, respectivamente:

$$i = \frac{541{,}259 \text{ x } Tr^{0{,}259}}{(t_d + 10{,}271)^{0{,}718}} \text{ , } (5 \leq t_d \leq 60) \quad (20)$$

$$i = \frac{999{,}057 \text{ x } Tr^{0{,}257}}{(t_d + 30{,}209)^{0{,}820}} \text{ , } (60 \leq t_d \leq 1.440) \quad (21)$$

onde:

i = intensidade da chuva (mm/h);

Tr = tempo de retorno (anos) e

t_d = tempo de duração (min).

Os valores de intensidade que foram encontrados com base nesses parâmetros foram analisados e comparados com os reais, sendo que o erro relativo médio obtido para o primeiro intervalo foi de 1,269% e para o segundo foi de 2,104%, conforme pode ser observado no Apêndice B. Ambos os valores, mostram que a distribuição Gumbel Finita adotada é adequada; os gráficos das Figuras 13 e 14 corroboram com a afirmativa anterior, ao se analisar o bom ajuste dos dados à linha de tendência, R^2 próximo de 1 e ângulo de inclinação da linha de tendência próximo de 45° (valor que indica que os dados observados são iguais aos valores estimados).

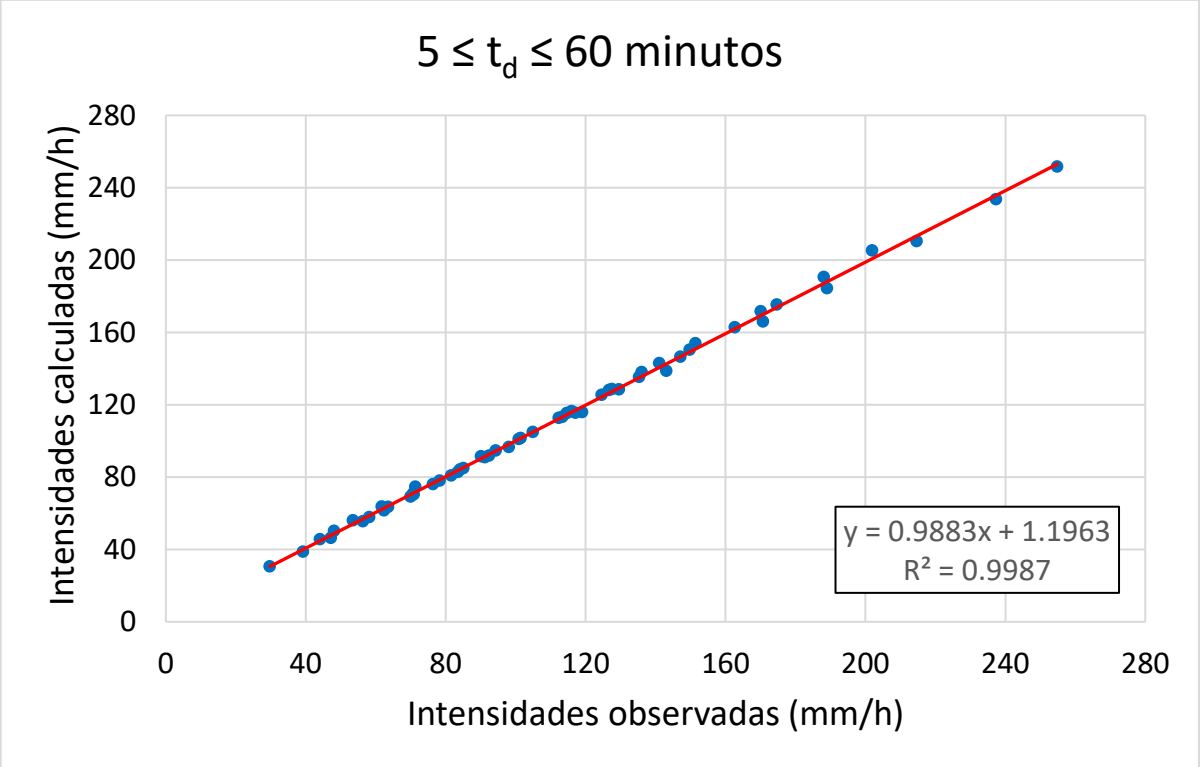


Figura 13: Comparação entre valores observados e calculados (AUTORA, 2022).

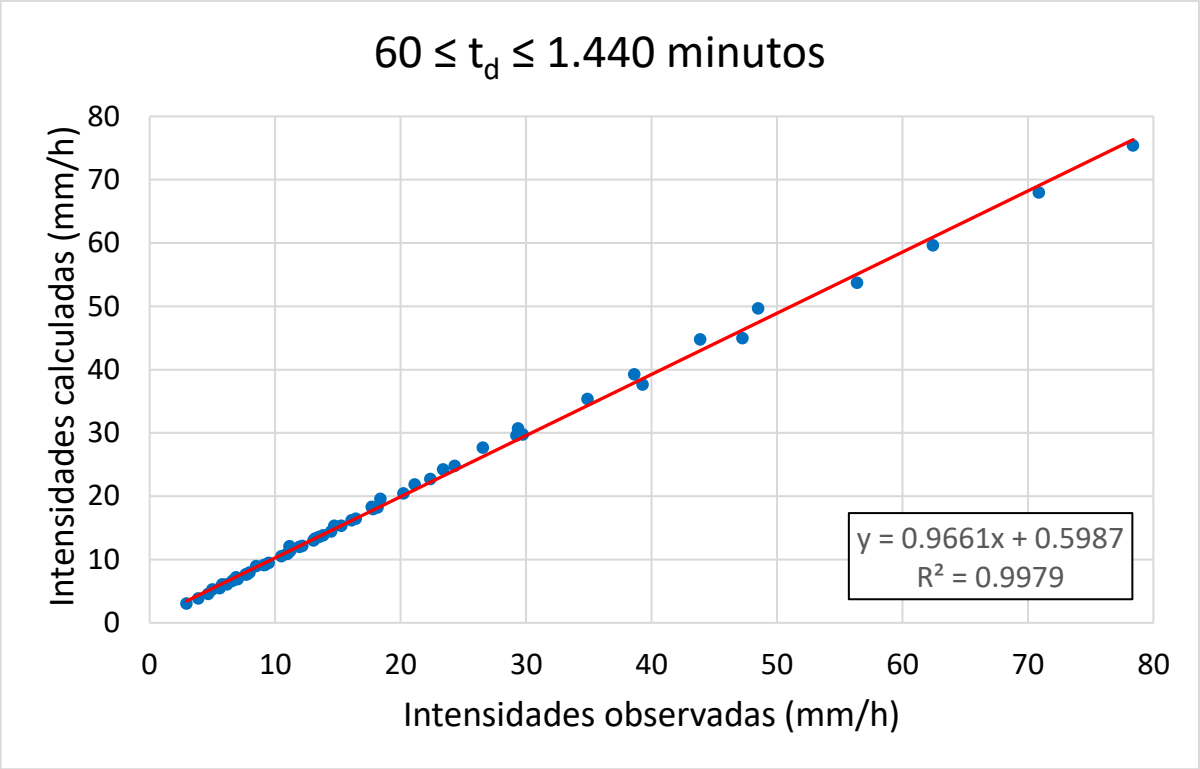


Figura 14: Comparação entre valores observados e calculados (AUTORA, 2022).

Para o Tr de 10 anos e o tempo de duração de 1 dia é possível comparar o valor da precipitação encontrado por meio da equação determinada e o valor real obtido na amostra de dados e perceber que eles são bem próximo (98,7mm e 94,1mm, respectivamente), mais um fato que corrobora o bom ajuste da equação a partir da distribuição Gumbel Finita.

4.7 Hietogramas

Para cada tempo de retorno (10 anos, 50 anos e 100 anos) adotou-se o tempo de concentração de 100 minutos, sendo assim, considerando intervalos de 10 minutos, os gráficos foram gerados com 10 blocos.

Devido ao tempo de concentração de 100 minutos, os parâmetros da equação IDF adotados foram os do intervalo de 5 minutos a 60 minutos, para os blocos até 60

minutos e para os demais, foi o intervalo de 60 minutos a 1.440 minutos. As Figuras 13, 14 e 15 apresentam os hietogramas para os diferentes tempos de retorno.

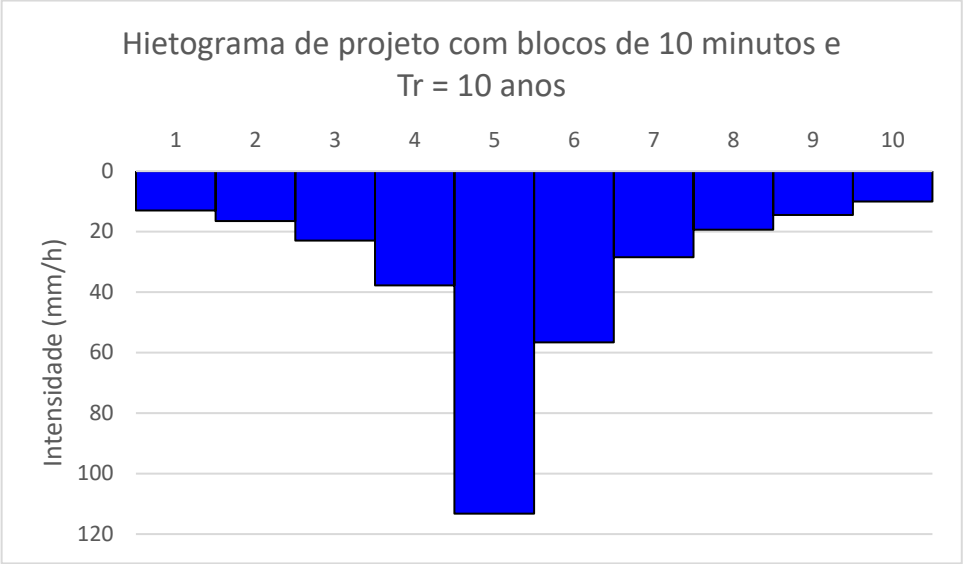


Figura 15: Hietograma para o Tr de 10 anos (AUTORA, 2022).

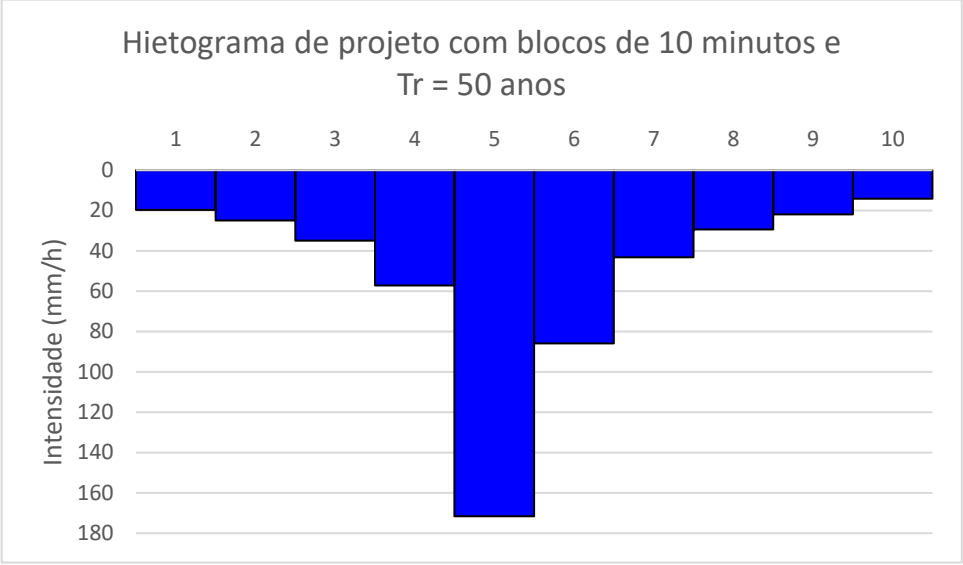


Figura 16:Hietograma para o Tr de 50 anos (AUTORA, 2022).

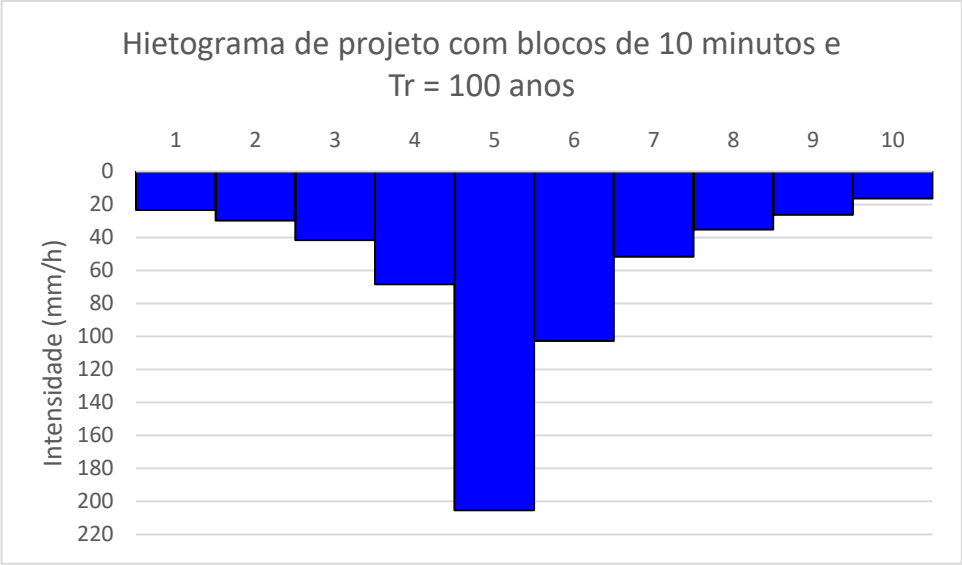


Figura 17: Hietograma para o Tr de 100 anos (AUTORA, 2022).

Os hietogramas permitiram observar um aumento significativo da intensidade das chuvas conforme aumenta-se o tempo de retorno. Com esses dados é possível pensar em projetos de micro e macrodrenagens do local, embora o dimensionamento de projetos de drenagem não é o foco deste trabalho.

A alteração na vegetação e consequente modificação do CN não interfere nas intensidades totais, apenas nas intensidades efetivas de projeto. O procedimento para obtenção dos hietogramas das chuvas efetivas para o cenário atual e os cenários de revegetação consiste em informar ao *software* MS Excel o hietograma da chuva total e o valor do parâmetro CN, de modo que se possa calcular as perdas iniciais e fazer a transformação chuva – vazão pelo método selecionado, no caso, o SCS.

4.8 Hidrogramas

Para o Cenário Atual, Cenário 1 e Cenário 2, AMC II e os tempos de retorno indicados têm-se os hidrogramas das Figuras 18 a 20.

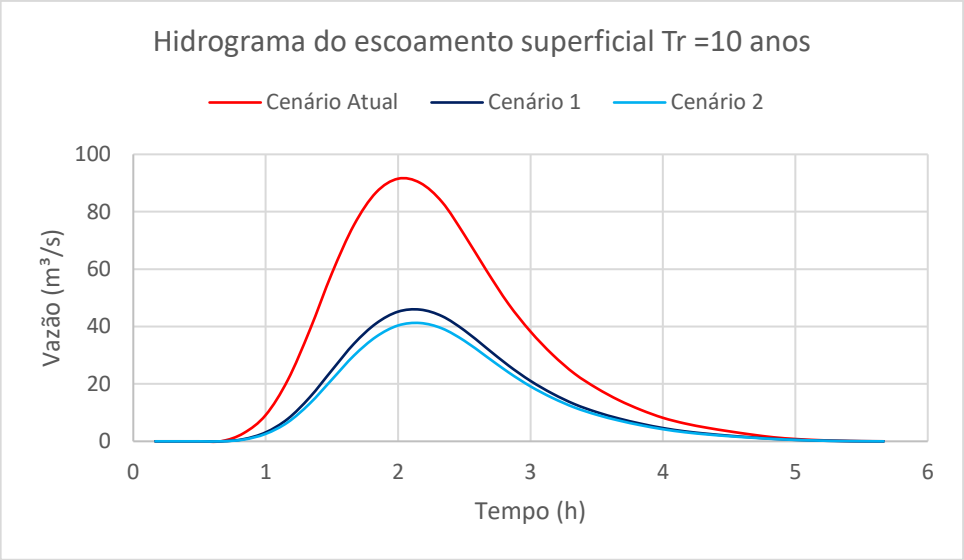


Figura 18: Hidrograma para Tr de 10 anos e AMC II (AUTORA, 2022).

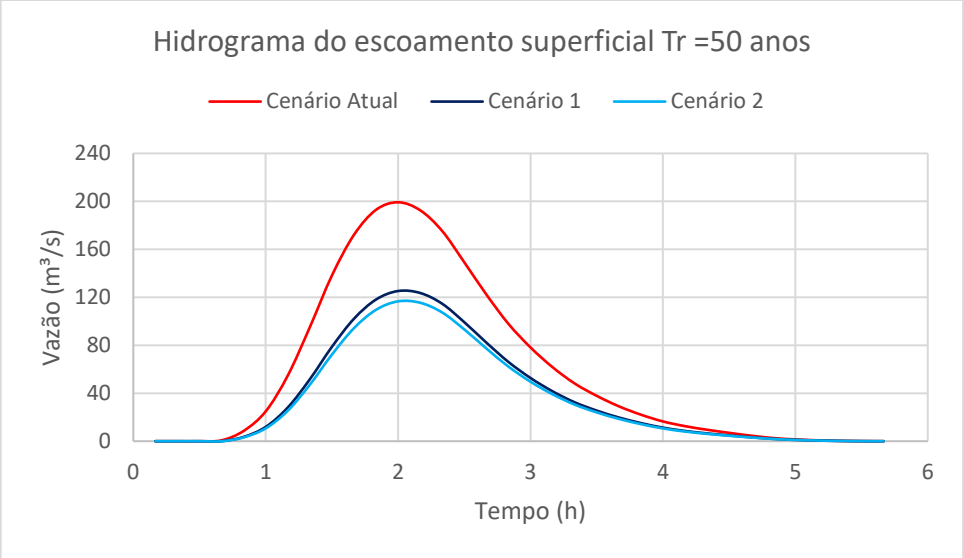


Figura 19: Hidrograma para Tr de 50 anos e AMC II (AUTORA, 2022).

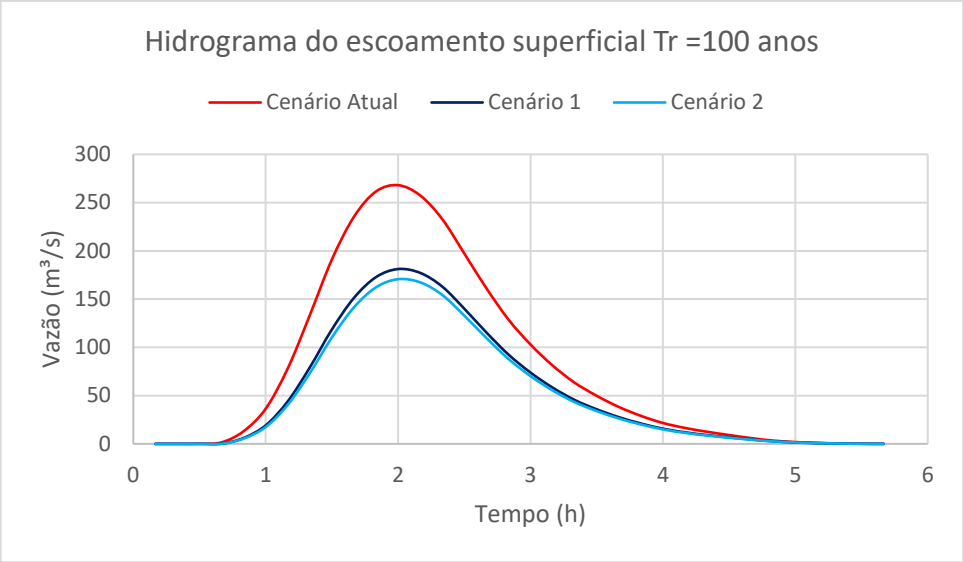


Figura 20: Hidrograma para Tr de 100 anos e AMC II (AUTORA, 2022).

Os hidrogramas apresentados foram elaborados considerando os dados dos hietogramas e o CN para o AMC II e todos os cenários. Observou-se que conforme aumenta-se o tempo de retorno, aumenta-se a vazão de pico. Observa-se também que há aumento do escoamento superficial.

Na AMC III têm-se os hidrogramas das Figuras 21 a 23.

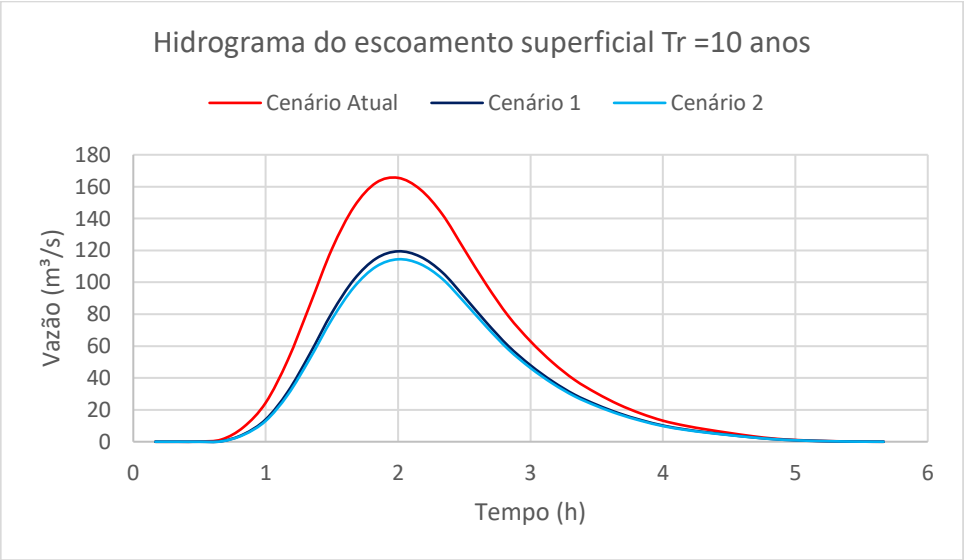


Figura 21: Hidrograma para Tr de 10 anos e AMC III (AUTORA, 2022).

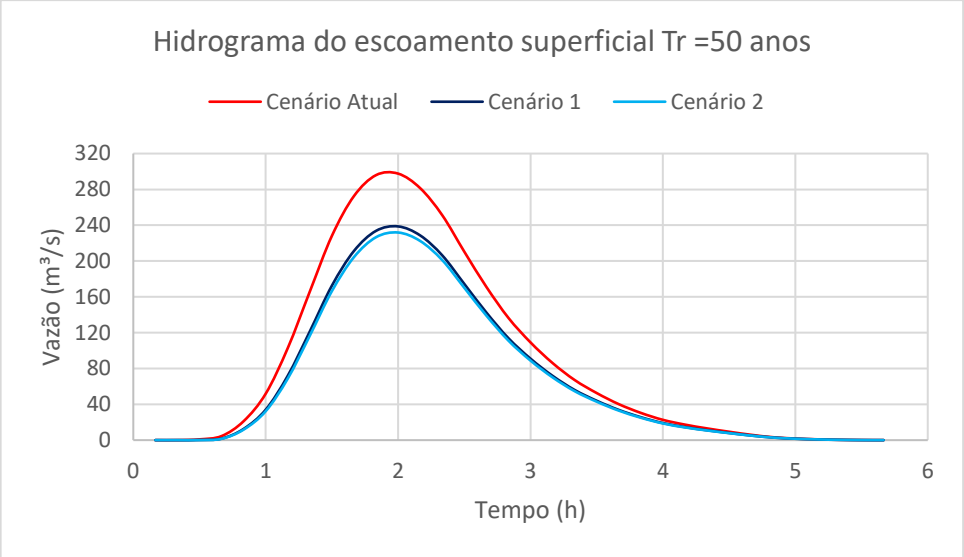


Figura 22: Hidrograma para Tr de 50 anos e AMC III (AUTORA, 2022).

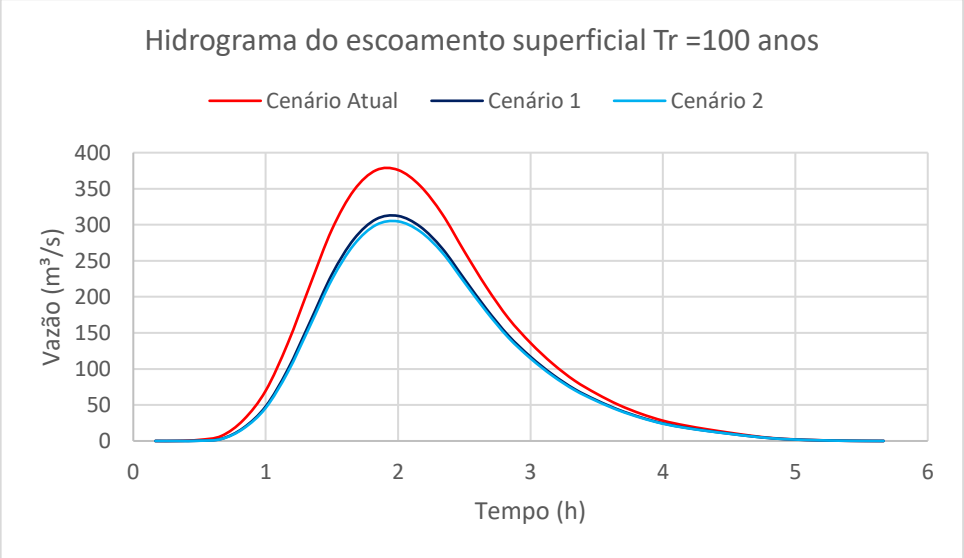


Figura 23: Hidrograma para Tr de 100 anos e AMC III (AUTORA, 2022).

Modificando os cenários e condições de umidade antecedente, foi possível observar nos seis hidrogramas anteriores que a vazão de pico sofre consideráveis

alterações. O escoamento superficial e a infiltração no solo, se comparados ao cenário atual, em razão da diminuição do CN, também sofreram alterações significativas.

Em relação ao Cenário 2, há um pequeno rebaixamento da vazão de pico em comparação ao Cenário 1, essa leve diferença pode ser explicada pelo fato de que a pastagem está presente em uma área muito maior do que as áreas ocupadas pelo garimpo e pelas voçorocas, mas pode-se dizer que existe uma diminuição significativa quando as medidas são tomadas em conjunto.

As Tabelas 17 e 18 condensa os dados de vazão de pico para cada cenário e tempo de retorno considerados.

Tabela 17: Vazões de pico para AMC II (AUTORA, 2022).

VAZÕES DE PICO			
Cenários	**Tempos de retorno**		
	10	50	100
Atual	91,52	199,27	268,03
1	45,89	125,28	181,13
2	41,22	116,66	170,65

% DE DIMINUIÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL			
Cenários	**Tempos de retorno**		
	10	50	100
1	-50	-37	-32
2	-55	-41	-36

Tabela 18: Vazões de pico para AMC III (AUTORA, 2022).

VAZÕES DE PICO			
Cenários	**Tempos de retorno**		
	10	50	100
Atual	165,51	297,61	375,98
1	119,44	238,66	312,23
2	114,44	231,84	304,66

% DE DIMINUIÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL			
Cenários	**Tempos de retorno**		
	10	50	100
1	-28	-20	-17
2	-31	-22	-19

As Tabelas 17 e 18 permitem observar o quão significativas são as variações na vazão de pico quando se fazem as simulações de cenários para diferentes tempos de retorno. Apesar do fato que o solo já possui por si só um alto potencial de geração de escoamento superficial, percebe-se que apenas o método de revegetação é suficiente para proporcionar mudanças significativas na bacia. Além dos cenários propostos, pode-se aliar outros métodos, sejam eles medidas estruturais ou não, aliados à revegetação, para mitigação dos efeitos das chuvas no local; métodos que busquem aumentar a infiltração na bacia e/ou retardar a velocidade de deslocamento da onda de cheia.

5 CONCLUSÃO

As informações obtidas pelos procedimentos explicados ao longo do trabalho, juntamente com a bibliografia e as informações sobre a realidade do local concretizam o sucesso do trabalho no uso dos *softwares* escolhidos. Estes já são amplamente utilizados para estudos hidrológicos e fontes confiáveis para as conclusões aqui inferidas, bem como às boas informações obtidas da bacia.

A diminuição do CN local após as simulações de revegetação, para AMC II sendo 80,31 para a condição atual, 71,10 para o Cenário 1 e 69,87 para o Cenário 2 e para AMC III sendo, 90,03, 84,46 e 83,77, respectivamente, indica como o desmatamento no local influencia o escoamento superficial, visto que quanto mais alto, menor a capacidade de infiltração e armazenamento de precipitações na bacia. Consequentemente, relacionado ao alto escoamento superficial, infere-se uma das possíveis causas da existência das grandes voçorocas, que têm como uma das origens a atividade garimpeira e são amplificadas com as intempéries agindo no solo descoberto.

A partir desse trabalho foi possível perceber os impactos que os longos anos de exploração desordenada da região com pastagens sem manejo ou com manejo não adequado e a busca pelo Topázio Imperial trouxeram, com grandes prejuízos aos rios e córregos locais. Essa percepção torna clara a importância de se trabalhar em busca da orientação de boas práticas de pastagens para quem as tem como atividade de geração de renda, bem como da legalização e controle fiscal da atividade garimpeira a fim de que ela ocorra de maneira minimamente sustentável, com técnicas adequadas, com segurança para os trabalhadores, com a devida remuneração e, principalmente, com planos de recuperação para as áreas após o fim das atividades.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros sugere-se um estudo aprofundado com a simulação de revegetação na área para cada grupo de solo encontrado na bacia, possibilitando resultados mais detalhados a respeito da morfologia do local e como ele se comporta durante precipitações. É possível também trabalhar essa simulação considerando as áreas de voçorocas e direcionando os estudos de revegetação com foco nos tipos de

vegetação aplicada no local degradado e enfatizando se há impactos significativos da revegetação diretamente nas áreas de voçorocas.

Outra sugestão seria a continuidade do trabalho simulando as inundações no local com o HEC-RAS a fim de entender o comportamento das cheias em diferentes cenários.

Há também a possibilidade de focar na simulação com outros métodos de recuperação da área degradada, bem como outro tipo de modificação na bacia e assim entender a influência dessas outras medidas no comportamento das cheias do local.

Outras sugestões são: estudar a viabilidade das bacias de detenção e retenção na área; locar especificamente as áreas a serem revegetadas; para estudar especificamente o garimpo, delimitar bacias bem pequenas, na ordem de 5km² e ir a campo para validar o resultado dos mapas e com isso o resultado das vazões.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. D. **Diagnóstico ambiental do rio Maracujá**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 93. 2008.

AMADE, P.; LIMA, H. M. **Desenvolvimento sustentável e garimpo - O caso do Garimpo do Engenho Podre em Mariana, Minas Gerais.** Revista Escola de Minas, Ouro Preto, p. 237-242, Abril 2009.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Adendo à Nota Técnica nº 46/2018/SPR/ANA. Documento nº 00000.040424/2018-44. 28 de junho de 2018. **Produção de base vetorial com o Curve Number (CN) para BHO 2014 (BHO_CN).** 2018.

BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes Geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 226. 2000.

BARBOSA JR, A. R. **Elementos de Hidrologia Aplicada.** [S.l.]: [s.n.], 2007.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 185. 1997.

BRASIL. Lei Nº11.685. **Estatuto do Garimpeiro. Presidência da República Casa Civil** Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2 Junho 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11685.htm>. Acesso em: 6 Janeiro 2022.

CARVALHO, T. R. R de; SOBREIRA, F. G. Suscetibilidade a processos geodinâmicos e aptidão à urbanização na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, N° 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG: 373-389 Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. ISSN: 1808-0936. 2016.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem Urbana: manual de projeto.** São Paulo. 476p. 1980.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais.** 2ª. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

COSTA, L. R. **Os garimpos clandestinos de ouro em Minas Gerais e no Brasil: tradição e mudança**. História & Perspectivas, Uberlândia, p. 247-279, Janeiro. Dezembro 2007.

CRUZ, Y. L. C. **Diagnóstico geoambiental preliminar dos impactos da mineração de Topázio Imperial no distrito de Rodrigo Silva, Ouro Preto, MG.** Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 58. 2017.

EMBRAPA SOLOS. SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2006.

EMBRAPA SOLOS - SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed., rev. e ampl. 356 p.: il. color.; 16 cm x 23 cm. ISBN 978-85-7035-800-4. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: < https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos >. Acesso em: 29 maio 2022.

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 140. 2004.

FERREIRA, M. M. **Caracterização de argilas cauliníticas do quadrilátero ferrífero visando seu potencial de aplicação da indústria de cerâmica**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto - MG, p. 96. 2010.

GANDINI, A. L. **Mineralogia, inclusões fluidas e aspectos genéticos do Topázio Imperial da região de Ouro Preto, Minas Gerais.** USP. São Paulo. 1994.

GANDINI, M. L. T. **Utilização de modelo hidráulico para definição de áreas inundáveis com diferentes probabilidades na região do centro histórico da cidade de Mariana - MG.** Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 54. 2014.

GANDINI, M. L. T. **Análise estatística dos efeitos das mudanças climáticas em uma bacia hidrográfica.** Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos. 2016.

GRUBBS, F.; BECK G. “Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations”, **Technometrics**, v. 14, n. 4, p. 847-854, 1972.

GRUBBS, F. E. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. **Technometrics**, 11, 1-21. http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1969.10490657. 1969.

IBGE. **Manuais Técnicos em Geociências.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2019. Disponivel em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101675.pdf>. Acesso em: 29 maio 2022.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Manuais - Tutorial de Geoprocessamento.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em: 5 Janeiro 2022.

IPEA. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html>. Acesso em: 6 Janeiro 2022.

LINSLEY, R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. **Hydrology for Engineers - Environmental Engineering Series.** Edition: 2, illustrated: Publisher: McGraw-Hill. Original from: the University of Michigan. ISBN: 007037967X, 9780070379671. 482p. 1975.

LEPSCH, F. I. **19 lições de pedologia.** São Paulo. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, W. D. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba: USP - Departamento de Ciências Florestais, 2008. Disponível em: <https://engflorestal.webnode.com.br/_files/200000001-e7c75e8c14/Apostila--hidrologia-NOVA-2008.pdf>. Acesso em: 06 junho 2022.

MACEDO, A. D. S.; OLIVEIRA, M. L. S.; FREITAS, A. F.; FERREIRA DE FREITAS, A. **Nem Tudo que Reluz é Ouro Os Desafios de Cooperativas Minerais em Minas Gerais1.** Desenvolvimento em questão, p. 220-248, Outubro/Dezembro 2016.

MACHADO, R. L. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no médio Vale do rio Paraíba do Sul, RJ.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. 2007.

MAGNA, C. **Constituição da república federativa do Brasil de 1988**. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 6 Janeiro 2022.

MEDEIROS, R. B.; SÃO MIGUEL, A. E.; BRUGNOLLI, C. A. C. **Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do córrego das marrecas, Dracena/SP**. Fórum Ambiental da Alta Paulista, 10, 2014. 41-56.

MELO, F. L.; SIMÃO, J. B. P.; CAIADO, M. A. C.; RANGEL, O. J. P. Vegetação como instrumento de proteção e recuperação de taludes. **Revista Verde de Agroecologia**

e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró, v. 8, n. Especial, p. 116-124, Dezembro 2013. ISSN 5.

OCCHIPINTI, A. G.; SANTOS, P. M. **Relações entre as precipitações máximas de "um dia" e de "24 horas" na cidade de São Paulo.** São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, USP. 26p. 1966.

PEIXOTO, R. J.; LIMA, H. M. **Diagnóstico dos garimpos de topázio imperial no Alto Maracujá, Sub-bacia do rio das Velhas, MG.** Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 249-254. 2004.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica.** 1ª ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 279 p. 1976.

PINTO, B. L. **Dinâmica Geomorfológica de Voçorocas no Município de Tucano – Bahia.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE. 2018.

QUEIROZ, A. G.; OLIVEIRA, C. C.; NEVES, E. C.; PEREIRA, J. P. M.; LISBOA, L. D. M.; DOLCE, M. F.; MOREIRA, V. M. R. **PI Unibh: Voçorocas - Cachoeira do Campo.** Vídeo do YouTube. 2017. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=GOisyraxLnQ>. Acesso em: 13 Fevereiro 2023.

QUEIROZ, A. G.; OLIVEIRA, C. C.; PEREIRA, J. P. M.; DOLCE, M. F.; MOREIRA, V. M. R.; WEBER, A. K. P. de S. Proposta De Ficha De Campo Para Caracterização De Voçorocas No Distrito De Cachoeira Do Campo, Ouro Preto – MG. **Braz. J. Anim. Environ. Res.**, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 3127-3146, out./dez. ISSN 2595-573X. 2020.

QUEIROZ NETO, P. Pedologia: conceito, método e aplicações. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, p. 95-102, 1984.

RODRIGUES, S. J. A. **Modelagem hidrológica para diagnóstico de áreas sujeitas a inundações: estudo de caso da sub-bacia do córrego Carioca em Itabirito – MG.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 67. 2019.

SANTOS, H. G.; CARVALHO JÚNIOR, W.; DART, R. O.; ÁGILO, M. L. D., SOUSA, J. S.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S; OLIVEIRA, A. P. **O Novo Mapa de Solos do Brasil.** 1ª. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, v. 130, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316241838_O_Novo_Mapa_de_Solos_do_Brasil_-_Legenda_atualizada-_escala_15000000>. Acesso em: 19 Maio 2022.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de

Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, Out/Dez 2005. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=26&SUMARIO=440>.

SHAHIDIAN, S.; GUIMARÃES, R. C.; RODRIGUES, C. M. **Hidrologia Agrícola.** 2ª. ed. Evora: Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora e ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, 2017.

SILVA, I. A.; CAMPAGNA, A. R.; LIPP-NISSINEN, K. H. **Recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão de métodos recomendados para garimpos.** Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, n. 45, 2018. ISSN e0691.

SILVEIRA, A. L. L. D. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, p. 5-23, 2005.

STEPHENS, M. A. EDF Statistics for goodness of fit and some comparisons. **Journal of the American Statistical Association**, v.69, p.730-737, 1974. http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1974.10480196.

TEIXEIRA, G. **As mudanças na cobertura e uso da terra no Brasil.** O Programa Nacional de Saneamento Rural, 08 janeiro 2017. Disponível em: <https://pnsr.desa.ufmg.br/ibge-as-mudancas-na-cobertura-e-uso-da-terra-no-brasil/>.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos hidráulicos para obras municipais.** [S.l.]: [s.n.], 2002.

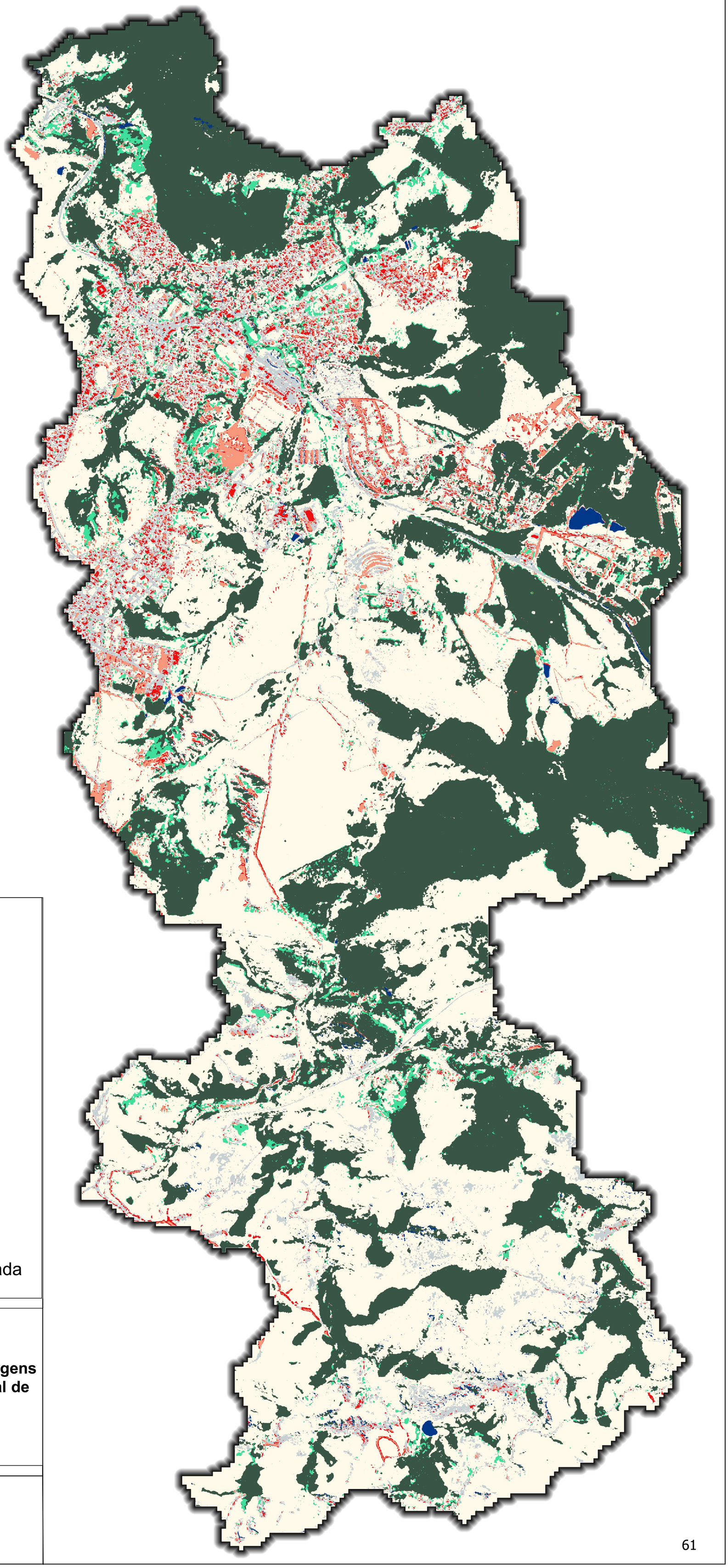
TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2ª. ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, v. 4, 2001.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, p. 135-152, Jan/Jun 1997. ISSN 1.

APÊNDICE A - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA ESTUDADA

636000 638000 640000 642000

7750000 7748000 7746000 7744000 7742000



Legenda

- Limite da bacia estudada

Uso e ocupação do solo

- Sem dados
- Vegetação árborea
- Grama
- Pastagens/descampado/ vegetação queimada
- Água
- Solo exposto (voçorocas)
- Rocha exposta (garimpo)
- Pastagens/descampado/vegetação queimada

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: SIRGAS 2000 - Zona 23 S
Fonte: Classificação supervisonada baseada em imagens do satélite CBERS-4A, com resolução multiespectral de 8m e panorâmica de 2m.
Elaboração: Jessyca Carneiro
Supervisão: Maria Luiza Teófilo Gandini

ESCALA 1:18998

0 0,5 1 km

APÊNDICE B – Dados para obtenção da IDF

Comparação do valor de intensidade real e intensidade calculada com a equação IDF encontrada para os tempos de duração de 5 a 60 minutos (AUTORA, 2022).

Tr (anos)	t_d (min)	i real (mm/h)	i calculado (mm/h)	Erro relativo (%)	Tr (anos)	t_d (min)	i real (mm/h)	i calculado (mm/h)	Erro relativo (%)
2	5	90,1	91,5	1,555	30	5	189,1	184,4	2,505
2	10	71,4	74,7	4,580	30	10	149,8	150,4	0,399
2	15	61,8	63,8	3,200	30	15	129,6	128,4	0,926
2	20	53,6	56,0	4,569	30	20	112,4	112,8	0,388
2	25	48,1	50,2	4,299	30	25	101,0	101,1	0,129
2	30	44,1	45,6	3,554	30	30	92,5	91,9	0,586
2	60	29,8	30,6	2,844	30	60	62,4	61,6	1,267
5	5	119,1	116,0	2,562	50	5	214,7	210,4	2,019
5	10	94,3	94,7	0,340	50	10	170,2	171,7	0,900
5	15	81,6	80,8	0,985	50	15	147,2	146,6	0,432
5	20	70,8	71,0	0,329	50	20	127,6	128,8	0,889
5	25	63,6	63,6	0,070	50	25	114,7	115,4	0,628
5	30	58,2	57,8	0,645	50	30	105,0	104,9	0,091
5	60	39,3	38,8	1,325	50	60	70,9	70,4	0,775
10	5	143,1	138,8	3,052	75	5	237,4	233,6	1,582
10	10	113,4	113,2	0,164	75	10	188,1	190,7	1,350
10	15	98,1	96,7	1,483	75	15	162,7	162,8	0,012
10	20	85,1	84,9	0,175	75	20	141,1	143,0	1,339
10	25	76,4	76,1	0,433	75	25	126,8	128,1	1,077
10	30	70,0	69,2	1,145	75	30	116,1	116,5	0,355
10	60	47,3	46,4	1,822	75	60	78,4	78,1	0,333
20	5	170,8	166,0	2,812	100	5	254,9	251,7	1,253
20	10	135,4	135,5	0,083	100	10	202,0	205,4	1,688
20	15	117,1	115,6	1,239	100	15	174,7	175,3	0,345
20	20	101,5	101,6	0,072	100	20	151,5	154,0	1,677
20	25	91,2	91,0	0,187	100	25	136,1	138,0	1,414
20	30	83,5	82,8	0,900	100	30	124,6	125,5	0,690
20	60	56,4	55,5	1,579	100	60	84,2	84,2	0,000
Erro relativo médio (%) = 1,269									

Comparação do valor de intensidade real e intensidade calculada com a equação IDF encontrada para os tempos de duração de 60 a 1.440 minutos (AUTORA, 2022).

Tr (anos)	t_d (min)	i real (mm/h)	i calculado (mm/h)	Erro relativo (%)	Tr (anos)	t_d (min)	i real (mm/h)	i calculado (mm/h)	Erro relativo (%)
2	60	29,8	29,7	0,165	30	60	62,4	59,6	4,581
2	120	18,4	19,6	6,143	30	120	38,7	39,2	1,449
2	240	11,2	12,1	8,240	30	240	23,4	24,2	3,453
2	360	8,5	8,9	5,090	30	360	17,8	17,9	0,442
2	480	6,9	7,2	3,802	30	480	14,5	14,4	0,789
2	600	5,8	6,0	3,786	30	600	12,2	12,1	0,804
2	720	5,0	5,2	4,139	30	720	10,5	10,5	0,467
2	1440	3,0	3,0	1,943	30	1440	6,2	6,0	2,566
5	60	39,3	37,6	4,356	50	60	70,9	67,9	4,185
5	120	24,3	24,7	1,687	50	120	43,9	44,7	1,869
5	240	14,7	15,3	3,696	50	240	26,6	27,6	3,882
5	360	11,2	11,3	0,678	50	360	20,3	20,4	0,858
5	480	9,1	9,1	0,556	50	480	16,5	16,4	0,378
5	600	7,7	7,6	0,571	50	600	13,8	13,8	0,393
5	720	6,6	6,6	0,233	50	720	12,0	12,0	0,054
5	1440	3,9	3,8	2,337	50	1440	7,0	6,9	2,162
10	60	47,3	44,9	4,945	75	60	78,4	75,4	3,822
10	120	29,3	29,6	1,061	75	120	48,5	49,6	2,256
10	240	17,7	18,3	3,058	75	240	29,4	30,7	4,276
10	360	13,5	13,5	0,058	75	360	22,4	22,7	1,241
10	480	11,0	10,8	1,168	75	480	18,2	18,2	0,000
10	600	9,2	9,1	1,184	75	600	15,3	15,3	0,015
10	720	8,0	7,9	0,847	75	720	13,2	13,3	0,325
10	1440	4,7	4,6	2,939	75	1440	7,8	7,6	1,791
20	60	56,4	53,7	4,818	100	60	84,2	81,2	3,546
20	120	34,9	35,3	1,196	100	120	52,1	53,4	2,549
20	240	21,2	21,8	3,195	100	240	31,6	33,0	4,575
20	360	16,1	16,1	0,192	100	360	24,0	24,4	1,531
20	480	13,1	13,0	1,036	100	480	19,5	19,6	0,286
20	600	11,0	10,9	1,051	100	600	16,4	16,5	0,271
20	720	9,5	9,4	0,714	100	720	14,2	14,3	0,613
20	1440	5,6	5,4	2,809	100	1440	8,3	8,2	1,510
Erro relativo médio (%) = 2,104									