

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE
MESQUITA FILHO

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

JOÃO VICTOR RODRIGUES

ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA E SUA
INTERFERÊNCIA NA DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE
RIO DAS PEDRAS (SP)

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto
de Geociências e Ciências Exatas - Campus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2019

JOÃO VICTOR RODRIGUES

ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA E SUA
INTERFERÊNCIA NA DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE
RIO DAS PEDRAS (SP)

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição (orientador)

Prof. Msc Edvaldo Guedes Júnior

Murilo Cesar Merloto

Rio Claro, 26 de junho de 2019.

Assinatura do Autor

Assinatura do orientador

R696a Rodrigues, João Victor
Análise do uso e cobertura da terra e sua interferência na drenagem urbana na cidade de Rio das Pedras (SP) / João Victor Rodrigues. -- Rio Claro, 2019
53 p. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

1. Drenagem Urbana. 2. Uso e ocupação da terra.
Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
3. Esgotamento Superficial. 4. Simulação Hidrológica.
Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.
I. Título. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

À todos que participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

À UNESP e o DEPLAN, por disponibilizar infraestrutura e conhecimento necessários.

Ao meu orientador, Fabiano, pela orientação, apoio e confiança no meu trabalho.

À Prefeitura Municipal de Rio das Pedras, mais especificamente o Departamento de Meio Ambiente (Murilo e Fábio) pelo aprendizado e parceria nesta etapa da minha vida.

Ao Edvaldo Guedes Júnior por me ajudar desde a fase inicial deste trabalho sempre dispondo gastar seu tempo para me ajudar.

Aos meus pais pelo apoio e ajuda em todos os quesitos.

Aos amigos, especialmente aos meus colegas de sala da República Sununga que me acolheram e me ajudaram em várias coisas neste semestre.

Hoje uma nova fase da minha vida se inicia, estou muito animado para tal.
Pra cima!

RESUMO

O crescente processo de urbanização provoca diversas alterações no ciclo hidrológico, sendo uma delas a impermeabilização do solo. Com isso, a infiltração de água pluvial diminui, e o volume e velocidade do escoamento superficial aumentam, fazendo com que a quantidade de água que chega aos cursos d'água pelo tempo seja muito maior, o que pode vir a causar inundações em áreas que não apresentavam predisposição a tal evento em condições naturais. Com a ocupação de áreas de várzea de rios e córregos, somada à impermeabilização, o tempo de retorno do fenômeno diminui bruscamente, pondo vidas humanas em risco e trazendo prejuízos materiais. Mesmo em uma cidade pequena como Rio das Pedras - SP, a qual não apresentou casos de inundações ainda, com a expansão e urbanização ao longo das décadas pode começar a ter problemas de drenagem urbana com o Ribeirão Tijuco Preto que corta a cidade ao meio. Prever cenários e poder estimar quando os problemas surgirão é essencial para o planejamento urbano e ambiental da cidade, permitindo a tomada de medidas preventivas e minimizando riscos.

Palavras-chave: Drenagem Urbana; Uso e ocupação da terra; Escoamento superficial; Simulação hidrológica; Inundações.

ABSTRACT

The increasing urbanization process causes changes in the hydrological cycle, due to the soil sealing. As a result, the infiltration of rainwater decreases, and the volume and velocity of runoff increases, causing the amount of water that reaches the water courses by the time is much bigger, which can cause flooding in areas that were not predisposed to such an event under natural conditions. With the occupation of floodplain areas of rivers and streams, added to sealing, the return time of the phenomenon decreases sharply, putting human lives at risk and bringing material damages. Even in a small city like Rio das Pedras - SP, which has not yet reported any flooding cases, with expansion and urbanization over the decades can start to have urban drainage problems with Ribeirão Tijuco Preto, which cuts the city in half. Predicting scenarios and being able to estimate when the problems will arise is essential for urban and environmental planning in the city, allowing the taking of preventive measures and minimizing risks.

Key-words: Urban Drainage; Land use; Runoff; Hydrologic simulation; Floodings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Frequência e número de pessoas afetadas pelas inundações.	9
Figura 2: Representação das ilhas de calor formadas em áreas urbanas.	12
Figura 3: Elevação do nível de água provocada pelas precipitações.	13
Figura 4: Delimitação da área de estudo (Bacia do Ribeirão Tijuco Preto).	15
Figura 5: Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de SP.	16
Figura 6: Precipitação média mensal da série histórica de dados pluviométricos.	17
Figura 7: Precipitação total anual da série histórica de dados pluviométricos.	17
Figura 8: Mapa geológico de Rio das Pedras (SP).	18
Figura 9: Distribuição percentual das formações geológicas.	19
Figura 10: Distribuição percentual das classes pedológicas.	21
Figura 11: Fotografia de uma das tradagens realizadas.	26
Figura 12: Comparação de Composições RGB123, RGB432 e RGB543.	29
Figura 13: Pontos de coleta de amostras de solo.	33
Figura 14: Mapa temático de uso e ocupação do solo em 1986.	35
Figura 15: Mapa temático de uso e ocupação do solo em 2001.	36
Figura 16: Mapa temático de uso e ocupação do solo em 2019.	37
Figura 17: Comparação das classificações realizadas.	38
Figura 18: Distribuição percentual das classes de uso e ocupação da terra.	38
Figura 19: Hidrograma triangular unitário.	40
Figura 20: Hidrograma Unitário pelo método Soil Conservation Service.	40
Figura 21: Hidrograma da bacia de estudo para um TR de 5 anos.	41
Figura 22: Hidrograma da bacia de estudo para um TR de 10 anos.	42
Figura 23: Hidrograma da bacia de estudo para um TR de 20 anos.	42
Figura 24: Hidrograma da bacia de estudo para um TR de 50 anos.	43
Figura 25: Representação da drenagem na bacia.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de CN para diferentes usos e ocupação do solo.	30
Tabela 2: Resultados dos ensaios granulométricos e grupo hidrológico associado.	33
Tabela 3: Áreas das classes de uso e ocupação do solo para cada ano e a respectiva CN.	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1. Bacia hidrográfica e a influência da urbanização	11
3.2. Sistema de drenagem urbana e as inundações	12
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
4.1. Hidrografia.....	14
4.2. Aspectos Geológicos.....	18
4.3. Aspectos Pedológicos	21
5. MATERIAIS E MÉTODOS	24
5.1. O método Curva Número SCS – Soil Conservation Service	24
5.2. Caracterização pedológica aplicada ao método Curva Número SCS	25
5.3. Processamento de imagens orbitais e mapeamento do uso e ocupação da terra	27
5.4. Estimativa da Curva Número (CN).....	30
5.5. Modelagem hidrológica para verificação de inundações.....	31
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
6.1. Caracterização dos grupos hidrológicos do solo	33
6.2. Classificação do uso e cobertura da terra	34
6.3. Cálculo da Curva Número (CN)	38
6.4. Modelagem Hidrológica.....	39
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
APÊNDICE 1: MAPAS TEMÁTICOS.....	49

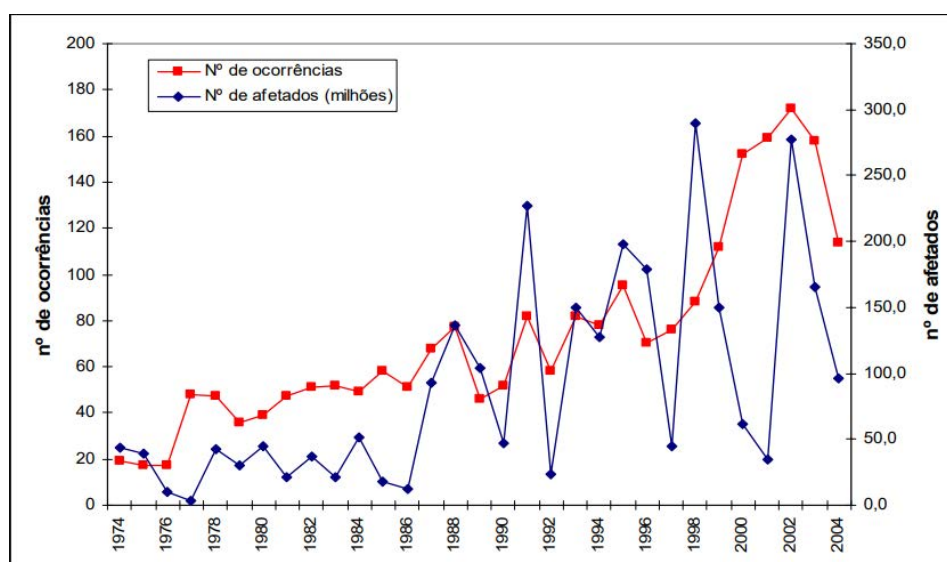
1. INTRODUÇÃO

O fenômeno das inundações não é novidade, ocorre desde antes de a humanidade existir. Até antigamente, era atribuída como um fenômeno natural, que ocorria ocasionalmente. Contudo, a crescente ocupação desordenada da terra para urbanização impermeabiliza o solo fazendo com que a infiltração de água não ocorra, e o escoamento superficial aumente.

Com isso, o fluxo de água gerado é muito maior do que seria em solo natural, e se não houver um planejamento urbano e ambiental correto para a drenagem, assim que houverem precipitações intensas a sobrecarga do sistema de drenagem urbana acarreta o fenômeno das inundações, que traz consigo danos ambientais e sociais, prejuízos materiais e financeiros, e em muitos casos deixam vítimas.

Assim, a ação antrópica no meio intensifica o processo de inundação. Dessa forma o tempo de retorno do fenômeno reduz, ocorrendo com precipitações menos intensas que anteriormente, se tornando uma preocupação constante. Abaixo está representado um gráfico mostrando o aumento de número de inundações e os afetados por estas em escala mundial (Figura 1).

Figura 1: Frequência e número de pessoas afetadas pelas inundações no mundo entre os anos de 1974 a 2005.



Fonte: EM-DAT: OFDA/CRED International Disaster Database - Université Catholique de Louvain, Belgium (2004)

2. OBJETIVO

Analisar o uso e cobertura da terra no município de Rio das Pedras, e, com base no crescimento da cidade ao longo dos anos e seu respectivo impacto no sistema de drenagem urbana, verificar a possibilidade de inundações devido ao aumento da impermeabilização do solo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Bacia hidrográfica e a influência da urbanização

Entende-se por bacia hidrográfica a área que recebe o volume de água precipitado e por conta de seu relevo, ordena o fluxo para um rio principal e seus afluentes, até chegar em seu ponto mais baixo de convergência (exutório), o qual lança o volume escoado para outra bacia hidrográfica. O fluxo ocorre da parte mais alta para a parte mais baixa seguindo os desníveis do terreno, sendo esta última a parte que estará localizado o rio principal.

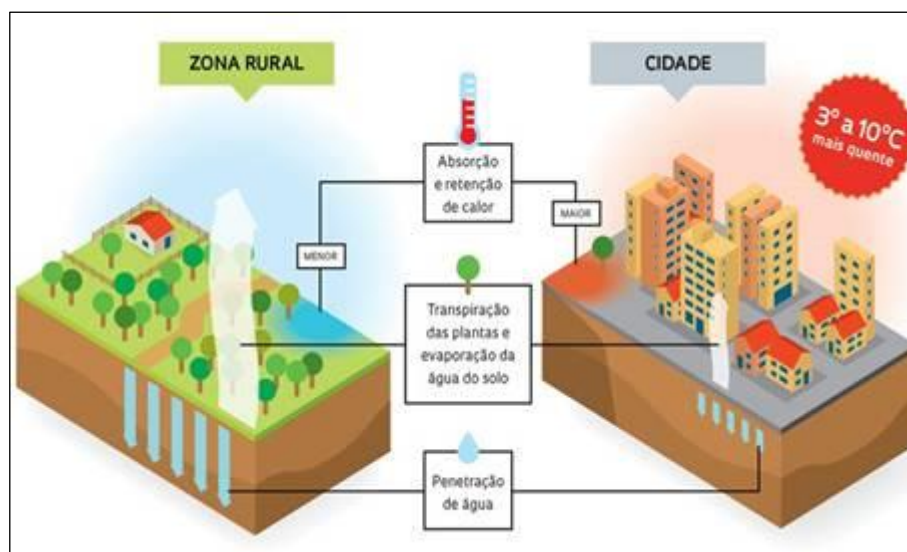
Segundo Silveira et al. (2009), a bacia hidrográfica consiste em um sistema físico onde o volume de água precipitado representa a entrada, enquanto o volume de água escoado pelo exutório representa a saída. A principal função do sistema é converter precipitação em escoamento em um determinado tempo.

Christofolletti (1980) considera a bacia hidrográfica como um sistema aberto, o qual permite trocas de matéria e energia entre o próprio meio, tanto de recepção como de perda; e um sistema não-isolado, pois ocorrem estas trocas também da bacia para com os demais sistemas do universo.

Em meio a isto, surge o contexto atual de urbanização. A tomada de áreas verdes pelas edificações e asfalto altera o ciclo hidrológico, e conseqüentemente as bacias hidrográficas, devido a fatores como alteração do relevo, impermeabilização do terreno, canalização de cursos d'água e remoção de vegetação, os quais provocam efeitos como aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração de água no solo, formando as chamadas ilhas de calor ilustradas na Figura 2.

Ao longo da história da humanidade o surgimento das cidades sempre se deu acompanhando os cursos fluviais, conciliando a necessidade de água para sobrevivência do ser humano e a proximidade a este recurso, que além do consumo constitui um insumo essencial para a agricultura e comércio, além de possibilitar a locomoção pela navegação (BAPTISTA et al., 2005).

Figura 2: Representação das ilhas de calor formadas em áreas urbanas.



Fonte: PIVETTA, 2012.

A demanda por água, somada ao crescimento populacional proporcionou a concentração de muitas pessoas em um espaço reduzido, nas áreas de várzea de rios e córregos, os quais foram retificados e canalizados ou encerrados em galerias, proporcionando maior expansão urbana nessas áreas.

Por outro lado, as áreas de várzea estão sujeitas a alagamentos periódicos em épocas de precipitação intensa. É um processo natural de cheia que os rios passam, contudo como o ciclo hidrológico foi afetado, e sua várzea ocupada, acaba causando as inundações em perímetro urbano.

3.2. Sistema de drenagem urbana e as inundações

A temática drenagem urbana e inundações se inserem nos estudos de planejamento urbano.

De acordo com Porto et al. (2009):

“O termo drenagem urbana é entendido (...) como o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.”

Como afirma Lanna et al. (2009):

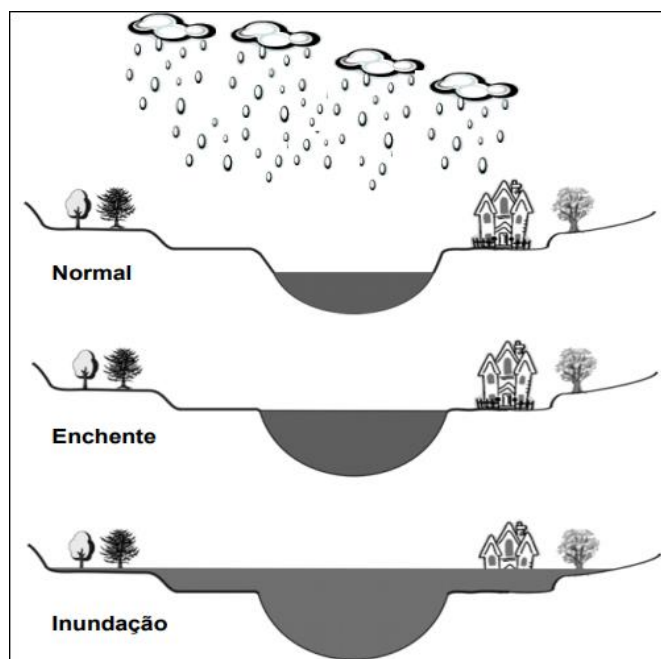
“A gestão dos recursos hídricos eficiente deve ser constituída por uma política dos recursos hídricos, que estabelece as diretrizes gerais, um modelo e um sistema de gerenciamento, que estabelece a organização legal e institucional e um sistema de gerenciamento, que reúne os instrumentos para o preparo e execução do planejamento de recursos hídricos”.

Faz-se necessário entender também a diferença de enchentes e inundações, pois configuram dois cenários distintos (Fig. 3):

Enchente (ou cheia): temporária elevação do nível d'água normal da drenagem, devido a acréscimo de descarga.

Inundação: tipo particular de enchente, na qual a elevação do nível d'água normal atinge tal magnitude que as águas não se limitam à calha principal do rio, extravasando para áreas marginais, habitualmente não ocupadas pelas águas.

Figura 3: elevação do nível de água provocada pelas precipitações, diferenciando enchente e inundação.



Fonte: GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as Inundações no Brasil. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Porto Alegre, ABRH, 2005.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se dentro do município de Rio das Pedras – SP, o qual possui área total de 226 Km² segundo a sua Prefeitura, fazendo divisa com os municípios de Piracicaba, Capivari, Tietê e Santa Bárbara D'Oeste. A área de estudo possui 21,91 Km², e consiste no alto curso da bacia do Ribeirão Tijuco Preto, este que corta ao meio a maior parte da área urbana da cidade. A área urbana total segundo a Prefeitura Municipal de Rio das Pedras é de 25,95 Km², contudo somente 4,5 Km² urbanos se encontram dentro da área de estudo. A Figura 4 ilustra as localizações nos contextos nacional, estadual e municipal.

4.1. Hidrografia

Em relação à rede de drenagem superficial, a área de estudo está localizada dentro da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Piracicaba/Capivari/Jundiaí – UGRHI 5, compreendendo as bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, em sua parte paulista, Capivari e Jundiaí (Bacias PCJ) (Figura 5).

Com área total de 14.178 km², as bacias PCJ estão localizadas na porção centro-sudeste do Estado de São Paulo, tendo como limites: (i) ao norte a UGRHI 9 (Mogi-Guaçu); (ii) a leste o Estado de Minas Gerais, (iii) a sudeste a UGRHI 2 (Paraíba do Sul), (iv) ao sul a UGRHI 6 (Alto Tietê); (v) a oeste e sudoeste a UGRHI 10 (Sorocaba/Médio Tietê); e (vi) a noroeste a UGRHI 13 (Tietê/Jacaré).

As bacias PCJ possuem como principais afluentes os rios Atibaia, Atibainha, Cachoeira, Camanducaia, Capivari, Corumbataí, Jaguari, Jundiaí e Piracicaba. Os principais reservatórios existentes na UGRHI são a Represa Barra Bonita, em seu trecho contra fluxo no Rio Piracicaba, abrangendo os municípios de Santa Maria da Serra, São Pedro e Piracicaba, e a represa de Salto Grande, localizada no município de Americana.

Figura 5: Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

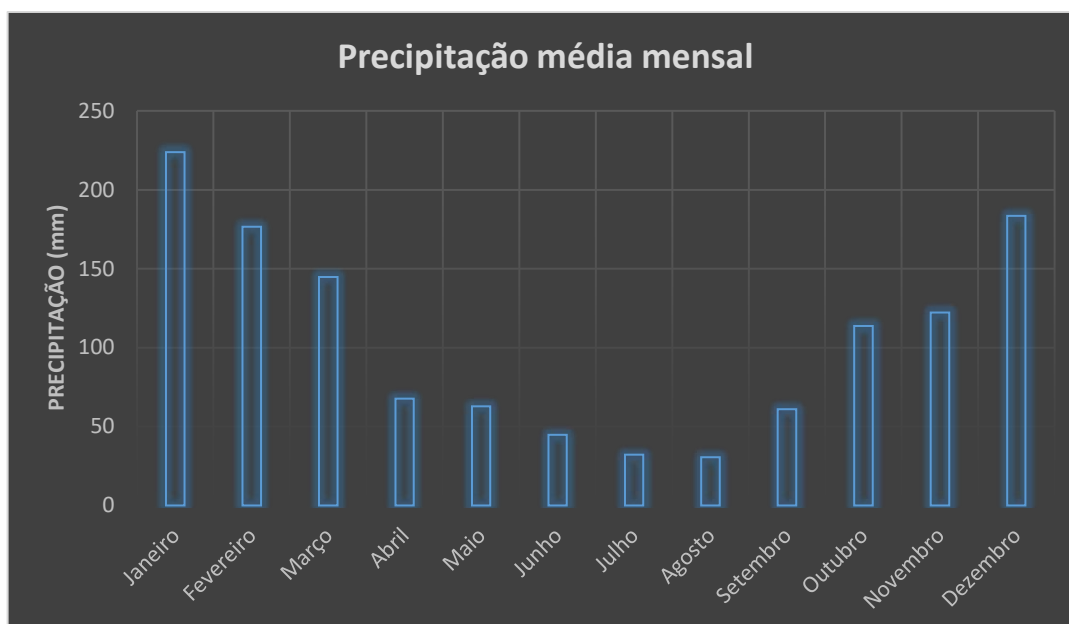


Fonte: Progestão Agência Nacional de Águas (ANA, 2018).

Sobre a hidrografia do município de Rio das Pedras, existem dois Ribeirões presentes em seus limites, o Ribeirão Tijucu Preto e o Ribeirão Lambari de Cima. Neste estudo o foco é no primeiro citado, a delimitação da bacia estudada foi feita com base na foz do alto curso do Tijucu Preto, já que este divide a área urbana do município. Este Ribeirão é afluente do Rio Piracicaba, sendo contribuinte direto de um dos rios principais rios das bacias PCJ.

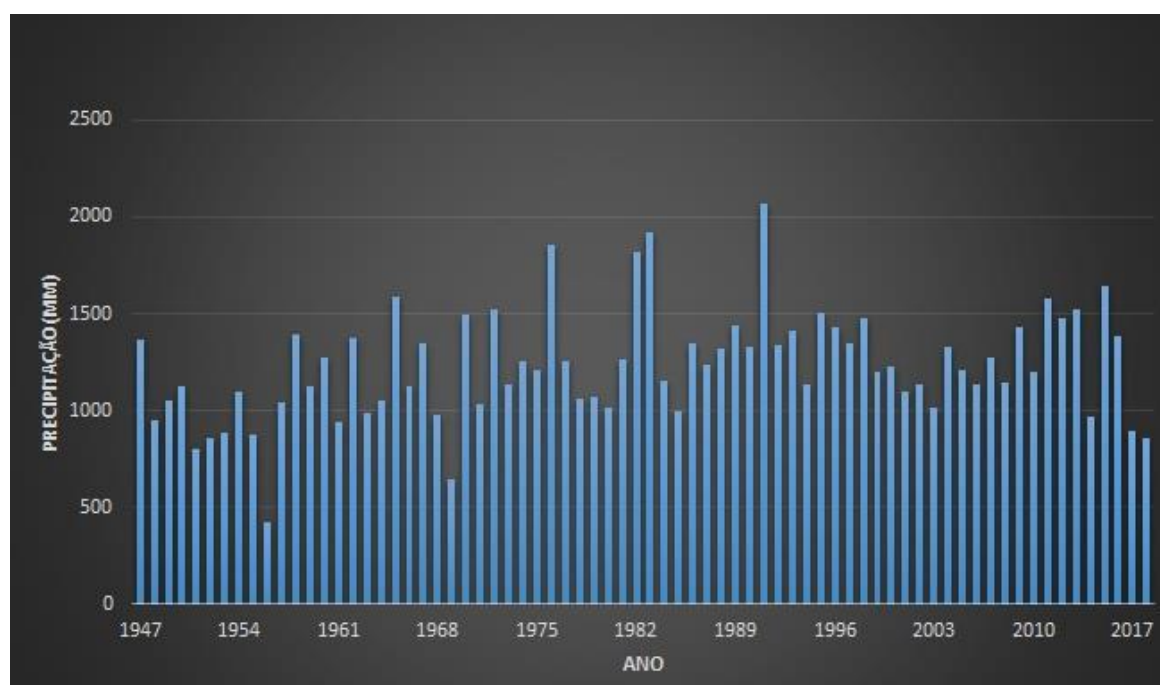
Quanto ao regime das precipitações no município, nas Figura 6 e 7 estão demonstradas respectivamente as médias mensais e anuais, obtidas pelo Posto DAAE/SP D4-068. Observa-se as precipitações com altura maior nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, que compreendem a estação do verão. A média anual na série histórica de 1947 a 2018 é de 1228 mm/ano, sendo esta uma média baixa se comparada com o restante do Estado de São Paulo.

Figura 6: Precipitação média mensal da série histórica de dados pluviométricos de Rio das Pedras (SP).



Fonte: Posto DAAE/SP D4-068 de 1947 a 2018.

Figura 7: Precipitação total anual da série histórica de dados pluviométricos de Rio das Pedras (SP).

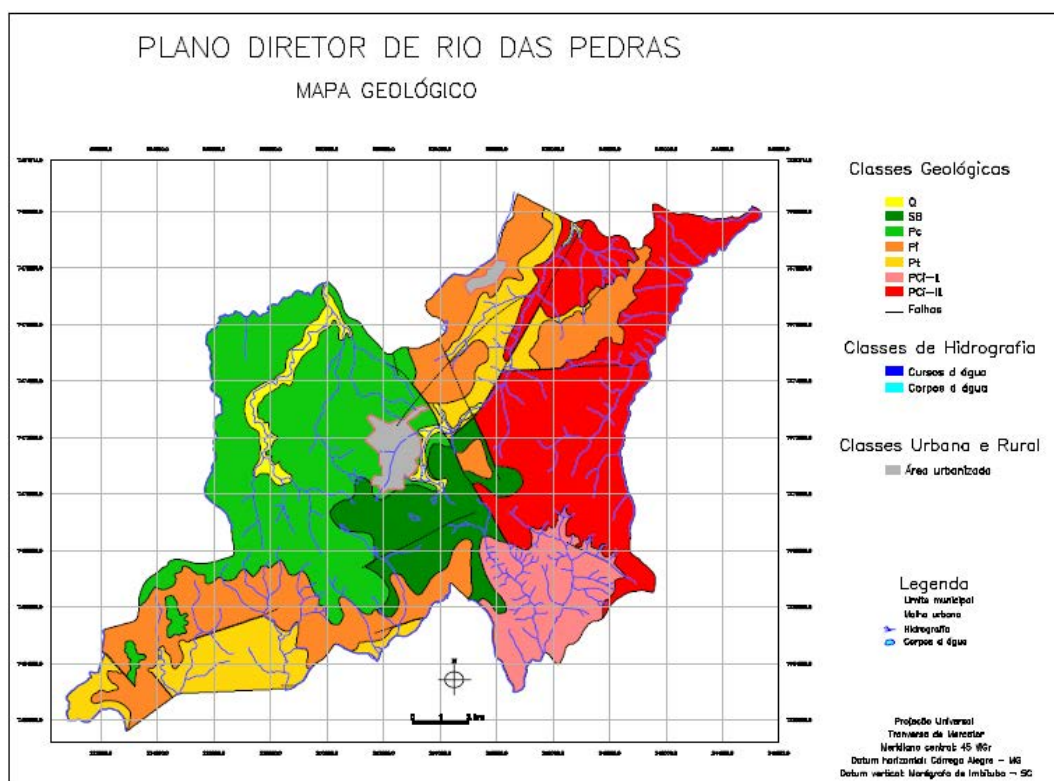


Fonte: Posto DAAE/SP D4-068 de 1947 a 2018.

4.2. Aspectos Geológicos

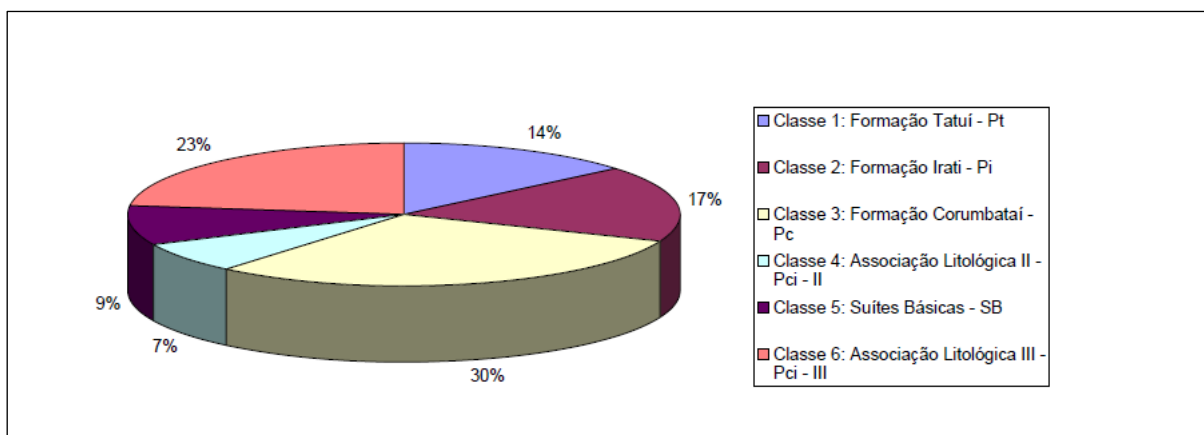
Na sequência são descritas as unidades contidas no mapa de substrato rochoso do município de Rio das Pedras (SP) (Fig. 8). As classes geológicas encontradas dentro da área de estudo são: Suítes Básicas (SB), Formação Corumbataí (Pc), Formação Irati (Pi), Formação Tatuí (Pt) e Subgrupo Itararé (Pci - II e Pci - III). Destas, predominam as Suítes Básicas e o Subgrupo Itararé em segundo. Na Figura 9 se encontram as classes de formações geológicas de superfície encontradas no município. As formações Pc e Pi representam 47%, sendo constituídas por siltitos, folhelhos, camadas de arenito e de calcário. As formações Pci II, Pci III e Pt representam 44% sendo constituídas por material silte-arenoso, e a formação SB representa 9% constituída por material argiloso.

Figura 8: Mapa geológico de Rio das Pedras (SP).



Fonte: Lei Complementar 2.345, de 13 de outubro de 2006. Plano Diretor Participativo de Rio das Pedras.

Figura 9: Distribuição percentual das formações geológicas no município de Rio das Pedras.



Fonte: Lei Complementar 2.345, de 13 de outubro de 2006. Plano Diretor Participativo de Rio das Pedras.

Suítes básicas – SB

Segundo Pejon (1992), na área do município ocorrem uma série de corpos de magmatitos básicos, na forma de diques e silos de diabásio, com ocorrência de algumas zonas de afloramento.

O contato da Formação Pirambóia com a Formação Teresina é uma discordância erosiva. Existe na base do Pirambóia um horizonte areno-argiloso com fragmentos angulosos de siltitos da unidade subjacente, não retrabalhados, que constitui um regolito fóssil, com espessura inferior a 2,0 metros. A topografia pré-Pirambóia que se apresenta pouco irregular e em afloramentos é paralela por centenas de metros às camadas do Teresina. O contato com a unidade superior se faz através de arenitos eólicos da Formação Botucatu de forma gradacional em que uma zona de mudança das características texturais dos arenitos apresenta mais ou menos 10m de espessura (BRASIL-PETROBRÁS, 1971).

Formação Corumbataí – Pc

Conforme a descrição de Pejon (1992), a Formação Corumbataí aflora em grande extensão no município, devido à pequena espessura dos materiais inconsolidados que a recobrem. Litologicamente é constituída por siltitos e folhelhos cinza-escuros na porção inferior e siltitos argilosos com cores avermelhadas e arroxeadas na porção superior. Ocorrem ainda intercalações de camadas de arenito muito fino e de calcário, em geral de pouca extensão.

Formação Irati – Pi

A Formação Irati na área do município é constituída por alternância de folhelhos pirobetuminosos e calcários na porção superior e por siltitos cinza-claros a escuros na porção inferior. A espessura da formação está em torno de 30 metros na região. Nas zonas de ocorrência da Formação Irati há várias pedreiras instaladas para a exploração de calcário onde a extração gera um volume elevado de rejeitos devido à grande quantidade de material estéril para ser escavado até atingir a camada de calcário (Pejon, 1992).

Formação Tatuí – Pt

De acordo com Pejon (1992), Formação Tatuí é representada na área por siltitos arenosos e arenitos finos com coloração amarela e amarelo-esverdeada na porção superior e por siltitos marrom-arroxeados na parte inferior. As espessuras médias variam de 40 a 60 metros. Ocorrem também camadas de arenitos em meio a siltitos com espessuras médias de 1,0 metro. Em seus estudos Pejon (1992) verificou que em taludes de estradas, quando este material é escavado, ocorre uma alteração diferencial entre as camadas de arenito e silito, ocasionando problemas de quedas de bloco e estabilidade do talude. Os siltitos arroxeados da porção inferior apresentam intenso empastilhado quando expostos em cortes de rodovias, provocando também problemas de manutenção desses taludes.

Subgrupo Itararé – Pci

Conforme Petri (1964) citado por Pejon (1992), a designação de Subgrupo Itararé é a mais aceita para São Paulo. Segundo Souza Filho (1986) citado por Pejon (1992), devido a identificação de diversas unidades dentro do Subgrupo Itararé, que podem resultar na sua divisão em formações, Pejon (1992), em seus estudos para a área adotou a divisão em associações litológicas considerando as litologias predominantes, dividindo-as em três associações:

Pci – II (Associação Litológica II): são predominantes as litologias de granulometria fina, com intercalações de siltitos e argilitos e, subordinadamente, arenitos finos. Aparecem também materiais conglomeráticos em corpos de pequenas dimensões.

PCi – III (Associação Litológica III): esta associação é constituída por siltitos arenosos, arenitos, diamictitos e argilitos. Os siltitos e argilitos normalmente exibem

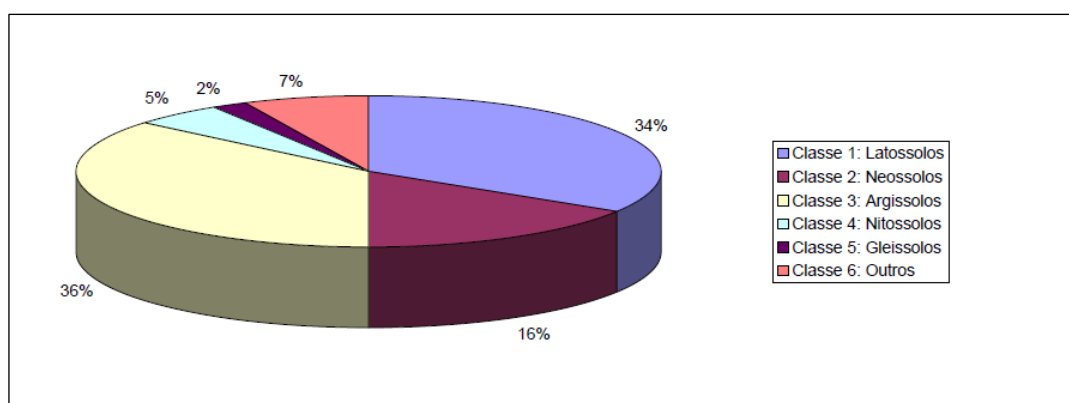
cores, marrom e avermelhada e apresentam estratificação horizontal. Os diamictitos formam corpos isolados com pouca continuidade lateral, apresentam seixos facetados, algumas vezes estriados.

4.3. Aspectos Pedológicos

O conhecimento das características dos solos constitui fator fundamental para o planejamento adequado do uso da terra, bem como de seu manejo racional. A melhor maneira de se conhecer as propriedades dos solos é através de levantamentos pedológicos. O propósito fundamental de um levantamento pedológico consiste no fornecimento de informações relacionadas à natureza dos solos, suas propriedades, distribuição geográfica e expansão territorial (BALLESTERO et al., 2000).

Os solos foram classificados mediante conceitos estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (BRASIL-EMBRAPA, 1999) e correlacionados com a classificação até então vigente proposta por CAMARGO et al.(1987), tomando-se por base os dados referentes aos perfis completos. Os solos identificados estão descritos a seguir (Fig. 10).

Figura 10: Distribuição percentual das classes pedológicas no município de Rio das Pedras.



Fonte: Lei Complementar 2.345, de 13 de outubro de 2006. Plano Diretor Participativo de Rio das Pedras.

Latosolos

Grupo de solos que apresentam horizonte B latossólico, precedido de qualquer tipo de horizonte A diagnóstico exceto turfoso (CAMARGO et al., 1987).

São solos profundos, friáveis, com teores de argila superiores a 15%. Abrangem um total de 75.348,54 km² ou 34,00% da área total do município.

Argissolos e Nitossolos

Compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados e um evidente incremento no teor de argila, com ou sem decréscimo, do horizonte B para baixo no perfil. Os solos destas unidades se distribuem em toda a área mapeada representando 41,0% da área total do município ou 90.861,47 km².

Gleissolos

Nesta categoria estão incluídos os solos que sofrem forte influência do lençol freático, durante grande parte do ano. Como são solos minerais com horizonte Glei, coincidente ou não com um horizonte B textural, precedido de qualquer horizonte A diagnóstico, exceto fraco, com ou sem um horizonte E interposto, estes solos são classificados como Glei Húmico e Glei Pouco Húmico (G-3). Estes solos ocupam 2,00% do total da área do município, distribuindo-se espacialmente por uma área de 4432,27 km².

Neossolos

Compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso e com pequena expressão dos processos pedogenéticos, em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, sendo subdivididos em: solos minerais fracamente desenvolvidos, sem horizonte diagnóstico subsuperficial, não hidromórficos, pouca espessura até a rocha dura, apresentando perfil AR com ou sem horizonte C interveniente pouco espesso. Abrangem 35.458,14km² ou 16,00% da área do município.

Planossolos

No caso dos Planossolos, estes são solos minerais, classificados por CAMARGO et al (1987) como Planossolo Ta (PL), não são hidromórficos, sendo

constituídos por material mineral com horizonte A ou E seguido de horizonte B plânico e satisfazendo, ainda, os seguintes requisitos: horizonte plântico, se presente, não satisfaz os requisitos para Plitossolo e horizonte glei, se presente, coincide com o B plânico.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. O método Curva Número SCS – Soil Conservation Service

O Soil Conservation Service, atualmente NRCS – National Resource Conservation Service, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos lançou em 1986 o Technical Release 55 (TR-55) denominado “Urban Hidrology for Small Watersheds”, o qual apresentou procedimentos para estimar a quantidade de chuva excedente (escoamento superficial) num local com base no potencial de absorção de umidade do solo.

Embora inicialmente projetado para um único evento de chuva, há a possibilidade de ser redimensionado para encontrar valores médios anuais de escoamento superficial, servindo de base para o planejamento da drenagem urbana. O Soil Conservation Service analisou mais de 3 mil tipos de solo e coberturas de vegetação e plantações, sendo assim estabelecida uma relação empírica correlacionando a capacidade de armazenamento das precipitações na bacia a um índice denominado curva número ou número de curva – CN.

Desta forma os requisitos para o método são apenas a quantidade de precipitação e o CN, sendo a estimativa deste último baseada nas características do tipo de solo, uso e cobertura da terra e do grau inicial de saturação, que é a condição de umidade antecedente.

A correlação entre o armazenamento máximo (S) e o CN (quando CN é igual a 100 o armazenamento é nulo) é expressa pela Equação 1 (em milímetros):

$$[7.18] \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

A princípio, os valores de CN podem variar de 0 a 100, porém, na prática o United States Department of Agriculture - USDA (1986) proporciona valores para coberturas permeáveis de 30 (superfícies em boas condições em solos tipo A) até 94 (para solos tipo D expostos). Baixos valores de CN significam que a superfície tem um alto potencial de retenção de água, enquanto valores de CN mais altos significam potencial de retenção mais baixo. Para superfícies impermeáveis, inicialmente foi atribuído um CN = 100 (SCS, 1972), que foi em seguida substituído

por um CN = 98. Para áreas permeáveis os CN são estimados em função dos grupos hidrológicos de solo (A, B, C ou D) e pelo mapeamento de uso e cobertura da terra.

5.2. Caracterização pedológica aplicada ao método Curva Número SCS

O método do SCS (1986) divide os solos em quatro grupos hidrológicos, com base em dados de chuva, escoamento superficial e infiltração. A divisão compara perfis de solo não classificados com perfis já classificados nos grupos hidrológicos. Parte-se da premissa de que solos encontrados dentro de uma mesma região climática são semelhantes na profundidade de seus horizontes ou do lençol freático, ou seja, há similaridades nas taxas de transmissão de água, textura, estrutura e saturação, que apresentaram respostas semelhantes de escoamento superficial (SCS, 2007).

Os grupos hidrológicos foram denominados A, B, C e D, a partir das propriedades do solo, como textura, saturação hidráulica, condutividade hidráulica, profundidade das camadas impermeáveis e do lençol freático. No presente estudo, a textura dos perfis de solo foi o parâmetro utilizado para a classificação dos grupos hidrológicos. Com base em SCS (2007) e MORAES (2011), os parâmetros de classificação segundo a textura são:

Grupo A – Solos com teor de argila menor que 10% e mais que 90% de areia. Possuem baixo potencial de escoamento superficial quando completamente úmidos e a água transita no perfil livremente. Não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m;

Grupo B – Solos com teor de argila entre 10 e 20% e de 50 a 90% de areia. Possuem de baixo a moderado potencial de escoamento superficial quando completamente úmidos e não há impedimento de água nas camadas do solo. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial;

Grupo C – Solos com teor de argila entre 20 e 40% e menos que 50% de areia. Possuem de moderado a alto potencial de escoamento superficial quando completamente úmidos e a percolação da água no perfil é restrita. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade;

Grupo D – Solos com teor de argila maior que 40% e menor que 50% de areia. Possuem alto potencial de escoamento superficial e a transição da água no perfil é restrita ou muito restrita. Camada densificada a uns 50 cm de profundidade ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

Para o planejamento dos pontos de coleta de amostras de solo, foi considerado o mapa geológico e pedológico do município, buscando pontos em classes geológicas e pedológicas diferentes dentro da área de estudo. Foram realizadas tradagens em 2 pontos até a profundidade de 1,00 m (Figura 11).

Figura 11: Fotografia de uma das tradagens realizadas.



Fonte: registrado pelo autor (2019).

As análises granulométricas foram realizadas no LAGEA – Laboratório de Geoquímica Ambiental do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN) – UNESP de Rio Claro. Foi utilizado o método da pipeta, descrito pelo boletim técnico 106 do IAC, tendo por objetivo determinar a distribuição percentual das partículas primárias do solo. Materiais utilizados: agitador rotatório de Wagner, balança analítica e garrafa de Stohmann. Para preparar a solução dispersante é necessário dissolver 20 g de hidróxido de sódio em 5 L de água destilada e adicionar 50 g de hexametáfosfato de sódio, agitando com agitador magnético até completa dissolução do reagente.

Procedimento para determinar areia total: transferir para garrafa de Stohmann 10 g da amostra de solo mais 50 mL de solução dispersante. Foi utilizado agitador rotatório de Wagner a 30 rpm, durante dezesseis horas. Foi transferida a suspensão para uma proveta de 500 mL (5 cm de diâmetro), passada por uma peneira com malha de 0,053 mm e completado o volume com água destilada. Após lavado o material retido na peneira com um jato forte de água, foi secado a 105-110°C e pesado. O material retido na peneira de 0,053 mm é areia total.

Procedimento para determinar argila e silte: após completado o volume da proveta a 500 mL, foi agitada a suspensão por trinta segundos com um bastão e anotado o tempo (t). Transcorrido o tempo necessário para a sedimentação da argila+silte e argila, foi introduzida uma pipeta de 10 mL a uma profundidade de 10 cm para amostragem de argila+silte e de 5 cm para amostragem de argila. Foram transferidas as alíquotas para cápsulas de porcelana previamente taradas e secadas a 105-110°C por no mínimo oito horas. Repetido o procedimento com a prova em branco, contendo a solução dispersante e água destilada. Após retiradas as cápsulas da estufa, deixou-se esfriar em dessecador contendo cloreto de cálcio anidro e pesadas rapidamente em balança para obter o peso da argila + dispersante (A+D) e da argila + silte + dispersante (A+S+D). Os resultados são expressos em porcentagem da terra fina seca ao ar (TFSA). Das alíquotas pesadas, subtrair o peso do dispersante que, no caso descrito, corresponde a cerca de 0,014g.

$$\text{Argila (\% na TFSA)} = [(A+D) - (D)] \times 500 \quad (2)$$

$$\text{Silte (\% na TFSA)} = [(A+S+D) - (A) - (D)] \times 500 \quad (3)$$

$$\text{Areia grossa (\% na TFSA)} = (AG) \times 10 \quad (4)$$

5.3. Processamento de imagens orbitais e mapeamento do uso e ocupação da terra

As classes de uso e ocupação da terra dizem respeito à cobertura do solo, podendo esta cobertura ser composta por diversos tipos de vegetação, culturas agrícolas, campos e pastagens, áreas impermeáveis, entre outros padrões de uso e ocupação. Estas classes de uso e ocupação possuem uma relação direta com os fenômenos de escoamento das águas pluviais uma vez que, determinadas superfícies influenciam nas taxas de infiltração e escoamento das águas pluviais.

Tendo em vista a definição de classes de uso e ocupação na bacia do Ribeirão Tijuco Preto, foram analisadas e classificadas imagens orbitais do sistema LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite). O sistema opera desde 1972, fornecendo uma longa série temporal de imagens que retratam as modificações nos padrões de uso e cobertura da terra. Ao longo dos anos e com o avanço tecnológico foram lançadas novas versões do sistema.

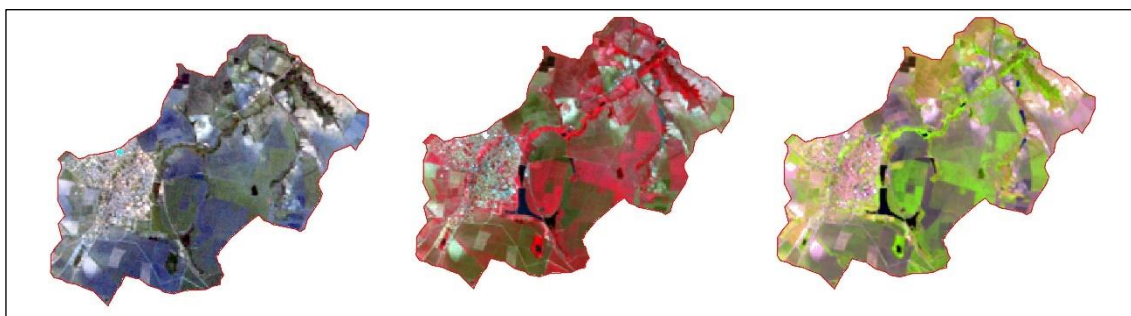
Tendo por objetivo avaliar a cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Tijuco Preto, este trabalho utilizou séries históricas de imagens do sistema LANDSAT 5 das seguintes datas: Junho de 1986, Outubro de 1991, Novembro de 1996, Outubro de 2006 e Junho de 2011; do sistema LANDSAT 7 foi utilizada uma imagem de Julho de 2001 e, por fim, do sistema LANDSAT 8 foram utilizadas imagens de Julho de 2016 e Janeiro de 2019. A escolha da data das imagens se deu conforme a nitidez destas, priorizando a ausência de nuvens que encubram a área de estudo, usualmente coincide com a estação do inverno por esta ser pouco chuvosa. É também importante pontuar que a partir de 2004 o Landsat 7 teve problemas e não gerou imagens relevantes, por isso o Landsat 5 cobriu tal lacuna até que o Landsat 8 fosse lançado em 2013.

Tais imagens possuem as seguintes características: resolução espacial de 30 m; resolução temporal de 16 dias; resolução radiométrica de 16 bits no Landsat 8, e de 8 bits para as demais versões; resolução espectral variando de 0,45 μm banda 1 a 2,35 μm na banda 7. As bandas espectrais são: banda 1 (azul), banda 2 (verde), banda 3 (vermelho), banda 4 (infravermelho próximo), banda 5 (infravermelho médio), banda 6 (infravermelho termal) e banda 7 (infravermelho médio). A classificação das imagens se desenvolveu em três etapas.

Pré processamento da imagem: Foram tomadas imagens do sistema LANDSAT disponibilizado pelo site do U.S. Geological Survey, setor Earth Explorer. A escolha da imagem foi feita preferencialmente nos meses do inverno (junho, julho e agosto) para evitar a presença de nuvens nas imagens, as quais podem atrapalhar a classificação do solo por dificultar a visualização. Em seguida foi realizada a composição de bandas por meio da ferramenta Composite Bands do software Arcmap 10.3, buscando realçar as diferentes classes de uso e cobertura da terra. As composições RGB (Red, Green, Blue) testadas foram a RGB123, RGB432 e RGB543, sendo os resultados obtidos ilustrados abaixo na Figura 12. A composição

escolhida foi a RGB432, que se mostrou superior às demais no quesito diferenciação de classes.

Figura 12: Comparação de Composições RGB123, RGB432 e RGB543, respectivamente.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Classificação Automática: No primeiro momento, tendo em vista o ganho de agilidade no processo de determinação e classificação de uso da terra, foi utilizado o método de classificação interativa supervisionada presente na ferramenta classification do SIG ArcGis 10.5. O processo de classificação se dá através da seleção de amostras dos pixels que compõem determinada classe e trazem consigo valores de reflectância espectral que são capazes de diferenciar padrões de uso e cobertura da terra. Após o processamento das amostras, o sistema de classificação não foi capaz de diferenciar áreas de solo exposto e superfícies impermeáveis em função de similaridades dos valores de reflectância dos pixels que compõem as referidas classes. As causas disso são dois fatores: primeiramente o tamanho da bacia que é relativamente pequeno em área, e a resolução espacial das imagens ser baixa, de 30 metros para cada pixel. Dessa forma se mostrou necessário o uso de um método manual.

Classificação manual: devido aos resultados incoerentes obtidos através do método de classificação interativa supervisionada, buscou-se auxílio do Basemap inserido no Arcmap 10.3, o qual fornece imagens de alta resolução espacial permitindo a identificação visual do alvo sem a necessidade dos valores de reflectância espectral. Aliado ao Basemap, estão as composições RGB432, possibilitando realizar a classificação através da criação de Shapefiles poligonais que são editáveis, conseguindo uma precisão maior na classificação. As classes de cobertura da terra escolhidas foram Área Impermeável, Vegetação Arbórea, Rede de

Drenagem, Vegetação Rasteira e Solo exposto. Na classe Vegetação Rasteira foram consideradas tanto a faixa de gramíneas como os plantios realizados na bacia, sendo importante salientar que por conta do principal plantio ser cana de açúcar, as classes Vegetação Rasteira e Solo Exposto alternam ao longo do mesmo ano nas épocas de safra e plantio da cana, a retirada da cultura expõe o solo por um período de tempo até o próximo plantio, portanto a análise dessas duas classes de 5 em 5 anos é inconclusiva, sendo relevante apenas o estudo da evolução da Área Impermeável e Vegetação Arbórea.

5.4. Estimativa da Curva Número (CN)

A determinação da CN para áreas urbanas é expressa na Tabela 1, levando em conta os parâmetros porcentagem de área impermeável e grupo hidrológico dos solos.

Tabela 1 – Valores de CN para diferentes usos e ocupação do solo.

Descrição do tipo de solo/ocupação e condição hidrológica	Área impermeável (%)	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Áreas livres					
Condições ruins (gramado <50%)		68	79	86	89
Condições normais (gramados de 50% a 75%)		49	69	79	84
Condições excelentes (gramados >75%)		39	61	74	80
Áreas impermeáveis					
Estacionamentos pavimentados, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Ruas e estradas					
Pavimentadas com guias e drenagem		98	98	98	98
Pavimentos com valas abertas / Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89
Áreas comerciais	85	89	92	94	95
Distritos industriais	72	81	88	91	93
Áreas residenciais em função da área impermeável (%)					
Tipo 1 (lotes <500 m ² , em média 65% impermeável)	65	77	85	90	92
Tipo 2 (lotes de 1000 m ² , em média 38% impermeável)	38	61	75	83	87
Tipo 3 (lotes de 1300 m ² , em média 30% impermeável)	25	54	70	80	85
Tipo 4 (lotes de 2000 m ² , em média 25% impermeável)	20	51	68	79	84
Tipo 5 (lotes de 4000 m ² , em média 20% impermeável)	12	45	65	77	82

Fonte: SCS, 2004.

No cálculo do valor da CN de uma área para determinado ano, realiza-se a média ponderada dos valores de CN conforme as respectivas áreas (Equação 5). O tamanho da área (em porcentagem) de cada classe de uso e ocupação do solo terá uma ponderação diferente para cada CN. Da mesma forma, os grupos hidrológicos de solo também são parâmetro importante no desenvolvimento dos modelos hidrológicos. A área total de estudo não se altera, e sim a área ocupada por cada classe no ano relacionado.

$$\overline{CN}_{(ano)} = \frac{CN(arb) \times \text{Área}(arb) + CN(imp) \times \text{Área}(imp) + CN(ras) \times \text{Área}(ras) + CN(exp) \times \text{Área}(exp)}{\text{Área total}} \quad (5)$$

Onde:

CN = Curva Número;

Arb = Vegetação Arbórea;

Imp = Área impermeável;

Ras = Vegetação Rasteira;

Exp = Solo exposto.

5.5. Modelagem hidrológica para verificação de inundações

Para verificar a possibilidade de inundações é necessário avaliar a dinâmica do escoamento no contexto da área urbana da bacia hidrográfica do Ribeirão Tijucu Preto ao longo dos anos, apresentando condições de ocupação do solo diferentes, e analisar seus respectivos hidrogramas de cheia. As curvas idf, juntamente com a equação de precipitações intensas para o município de Rio das Pedras foram retiradas do Atlas Pluviométrico do Brasil, desenvolvido pelo CPRM – Serviço Geológico do Brasil, para a Estação Pluviométrica Rio das Pedras. A partir da determinação da Curva Número (CN) é possível calcular o armazenamento máximo em milímetros (mm) pela Equação 1.

Em seguida é feito o cálculo das perdas iniciais de água pluvial (I_a), que representa a água infiltrada no começo da tormenta, através da Equação 6.

$$I_a \text{ (em mm)} = 0,2 \times S \quad (6)$$

O próximo passo é o cálculo dos parâmetros pluviiais tempo de concentração (t_c), tempo de pico (t_p), tempo de base (t_b) e duração da tormenta (pode ser expressa pelo símbolo d ou por t_r , dependendo da literatura), os quais foram obtidos através do uso das equações 7 a 9. O tempo de concentração é o tempo que a primeira gota leva do início até o exutório da bacia, enquanto o tempo de pico representa o tempo em que a tormenta atingiu sua intensidade máxima. O tempo de base representa o tempo total da precipitação até seu fim. A duração (d) adotado no estudo foi de duas horas. Todos os parâmetros citados acima são expressos em horas (h).

$$t_c = 57 \times \frac{(L^3)^{0,385}}{H} \quad (7)$$

$$t_p = 0,5 \times d + 0,6 \times t_c \quad (8)$$

$$t_b = 2,67 \times t_p \quad (9)$$

Onde: L = comprimento total bacia (km), H = desnível da montante até a jusante da bacia em metros.

Com estes dados foi calculado na sequência a vazão de pico (Q_p), representada pela Equação 10 e expressa em m^3/s :

$$Q_p = (2 \times A \times P) / t_b \quad (10)$$

Onde: A = área da bacia (km^2), P = precipitação unitária 1 mm.

Para a geração do hidrograma unitário descrito pelo método do Soil Conservation Service (SCS) foi utilizada a equação 11 para obtenção da vazão em m^3/s para 1 mm de precipitação. É necessário ressaltar a necessidade de conversão de algumas variáveis da equação para o resultante ser em m^3/s :

$$Q = (Q_p/t_p) \times t \quad (11)$$

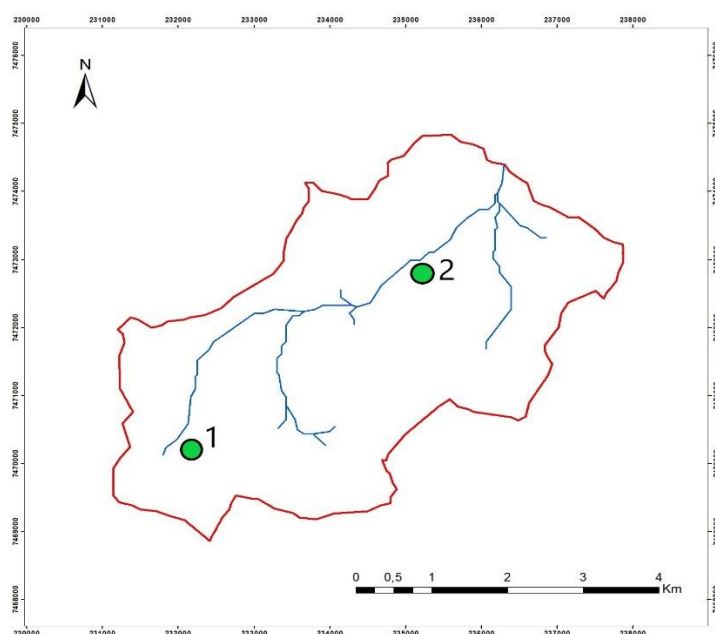
Onde: t = tempo (h), Q_p = vazão de pico (m^3/s), T_p = tempo de pico (h).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Caracterização dos grupos hidrológicos do solo

A análise granulométrica gerou a distribuição percentual das frações granulométricas (areia, silte e argila) das amostras, permitindo a identificação dos grupos hidrológicos segundo o método do SCS, relacionando parâmetros de textura com parâmetros de infiltração e escoamento superficial. Os pontos de coleta de amostras do solo estão apresentados na Figura 13.

Figura 13: Pontos de coleta de amostras de solo.



Fonte: elaborado pelo autor (2019)

As observações obtidas em campo foram confirmadas, mostrando ser um solo predominantemente argiloso na bacia de estudo. O resultado da análise é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados dos ensaios granulométricos e grupo hidrológico associado.

Número Da Amostra	Peso Das Frações Granulométricas (g)		Porcentagem Das Frações Granulométricas			Classificação Textural	Grupo Hidrológico (SCS)
	Argila	Areia Total	Argila	Silte	Areia Total		
Prova Branca	0,0142	Não Se Aplica	%	%	%	USDA	
Amostra 1	0,0856	4,924	42,8	7,96	49,24	Argila Arenosa	D
Amostra 2	0,1172	2,0823	58,6	20,577	20,823	Argila	D

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Com os percentuais de argila e areia total foi identificado o grupo hidrológico D para ambas as amostras, portanto foi considerado o grupo D para toda a bacia de estudo na modelagem hidrológica.

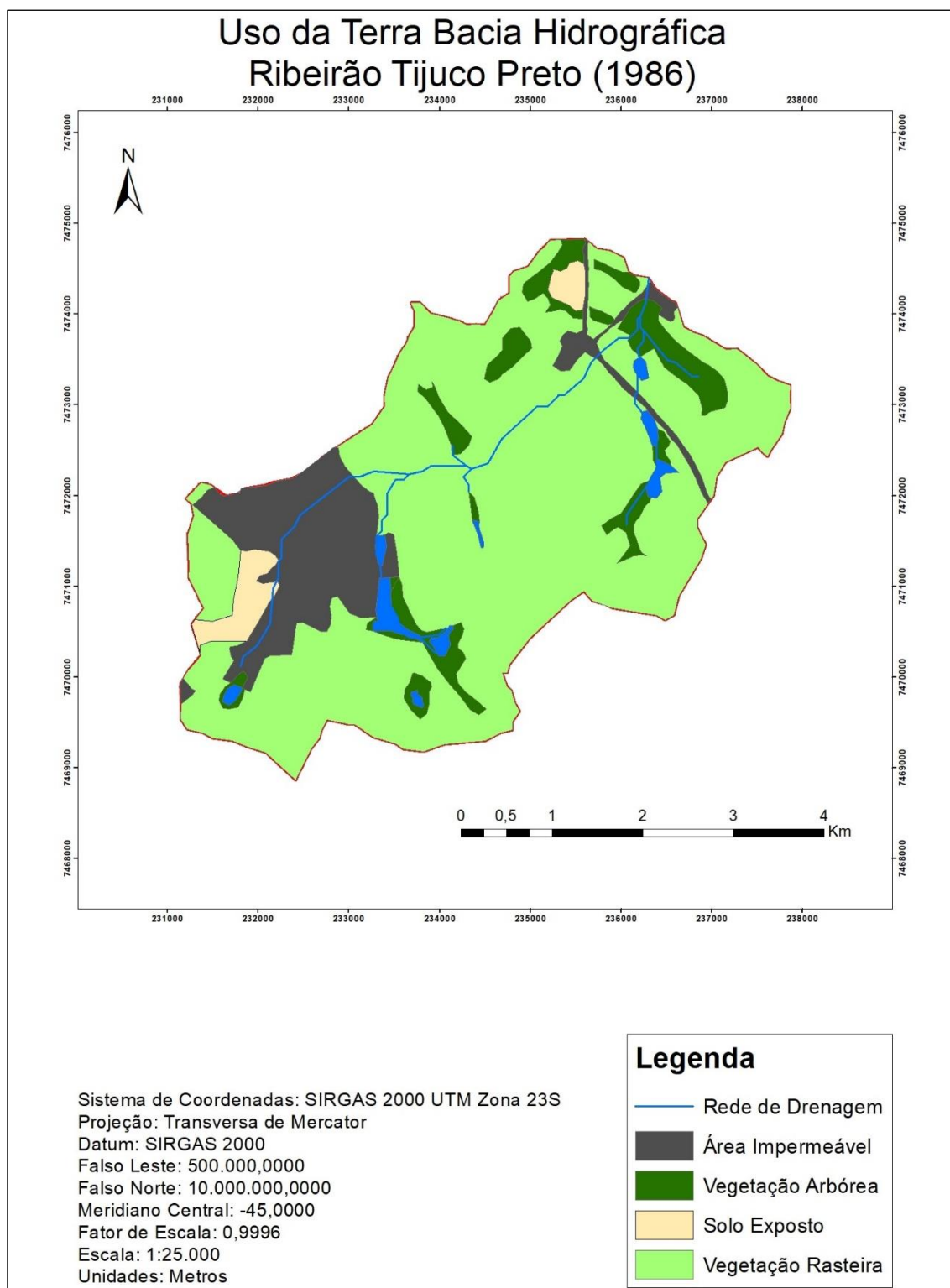
6.2. Classificação do uso e cobertura da terra

Após a classificação manual das composições geradas a partir das imagens orbitais do sistema LANDSAT foi possível quantificar a área ocupada por cada classe de uso e cobertura, ou seja, área impermeável, vegetação arbórea, vegetação rasteira e solo exposto. Como no total foram 8 mapas temáticos gerados de anos distintos, estão apresentados abaixo (Figuras 14, 15 e 16) apenas os dos anos de 1986, 2001 e 2019 para fim de facilitar a visualização das variações das classes no período, juntamente com a Figura 17 que compara lado a lado os três mapas. Entretanto, os mapas temáticos dos demais anos estão no Apêndice 1, e as datas de correspondentes da cada imagem está citada no item 5.3. deste estudo. Na Figura 18 é apresentada a distribuição percentual da área ocupada por cada classe de uso e ocupação do solo na bacia de estudo para os anos de 1986, 2001 e 2019.

Em 1986 a área impermeável na bacia de estudo era de 3,14 km², e atualmente em 2019 é de 4,45 km², representando um crescimento de 1,31 km², o qual é relativamente lento se considerado o intervalo de 33 anos do período. Ainda sobre a área impermeável, é possível observar o crescimento de 14% em 1986 para 20% em 2019. Tal fato tem influência direta no sistema de drenagem urbana do município, pois aumenta o escoamento de água pluvial recebido pelo sistema e conseqüentemente o recebido pelo Ribeirão Tijuco Preto. Por outro lado, a Vegetação Arbórea mostrou um leve aumento de 3% no período, sempre margeando a rede de drenagem da bacia, representando as Áreas de Preservação Permanente (APP).

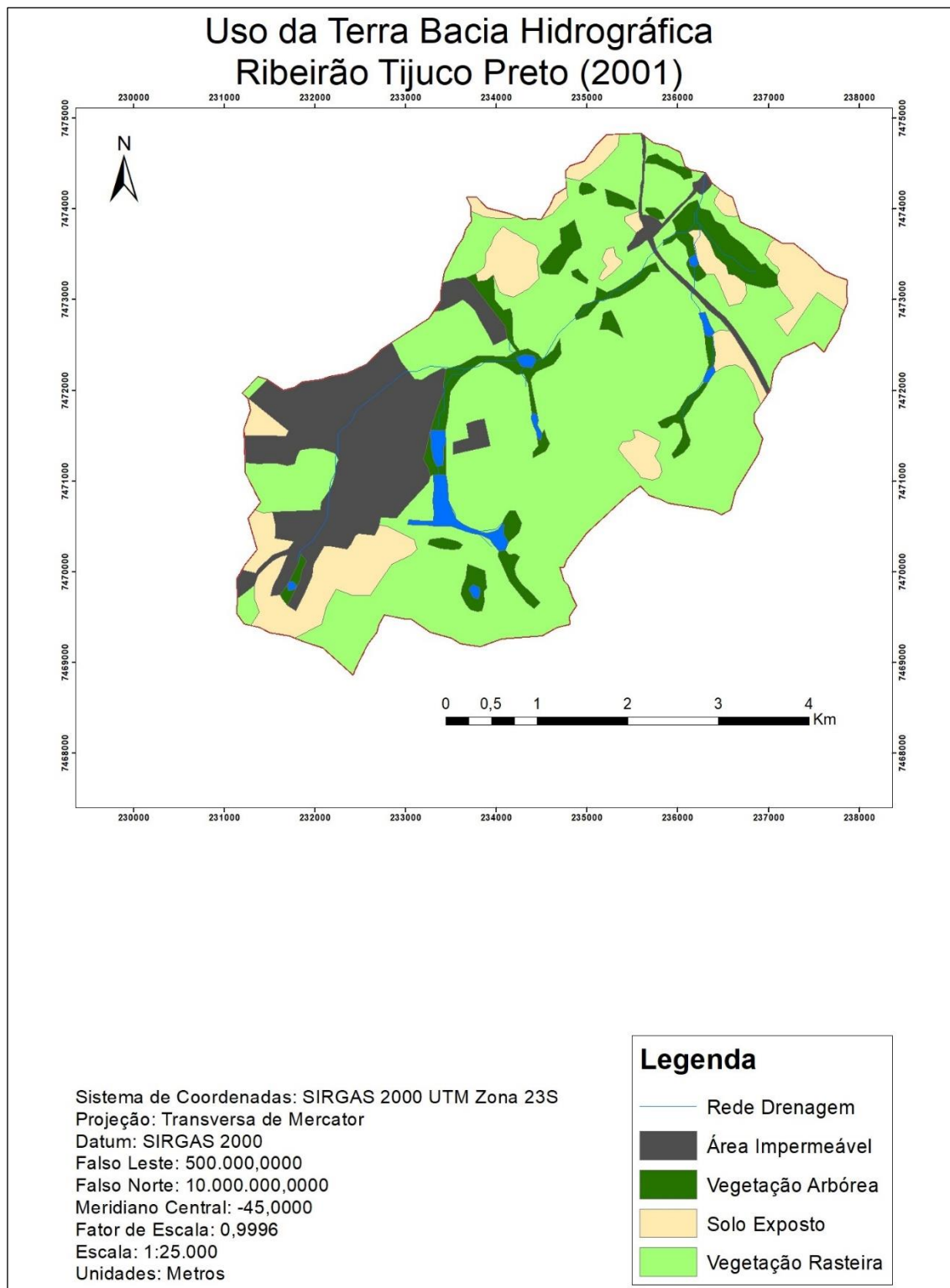
Já a classe Vegetação Rasteira, que representa as gramíneas e os plantios cultivados na bacia, decresceu consideravelmente no período. Contudo vale ressaltar novamente que como a cultura dominante no município é a cana-de-açúcar, estes dados de Solo Exposto e Vegetação são inconclusivos, uma vez que na época de safra da cana há a retirada completa do plantio fazendo com o solo fique exposto e mude de classe de uso e ocupação. Portanto a variação destas duas classes é observada em meses, e não aplicável sendo estudada em anos.

Figura 14: Mapa temático de uso e ocupação do solo em 1986.



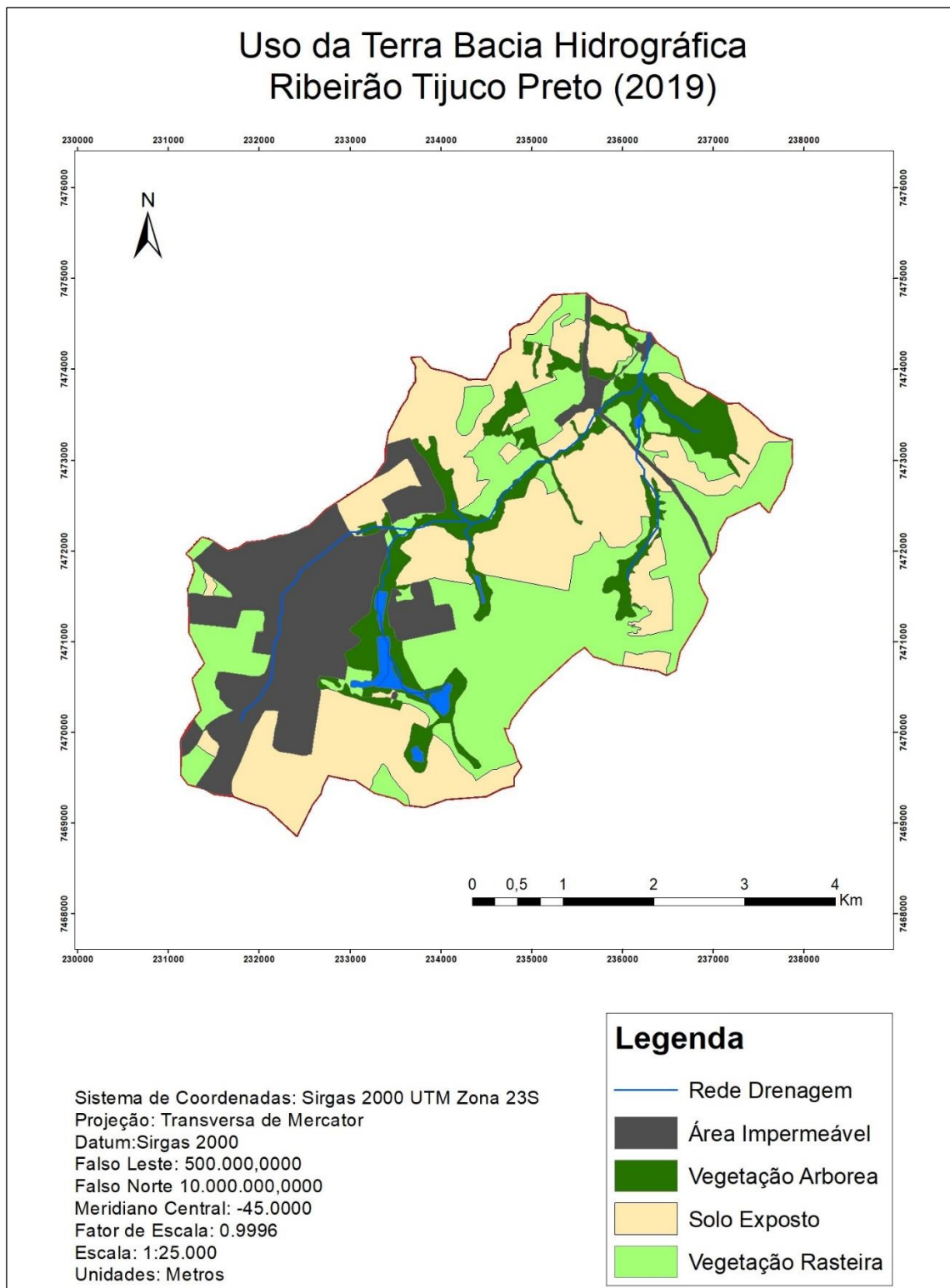
Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 15: Mapa temático de uso e ocupação do solo em 2001.



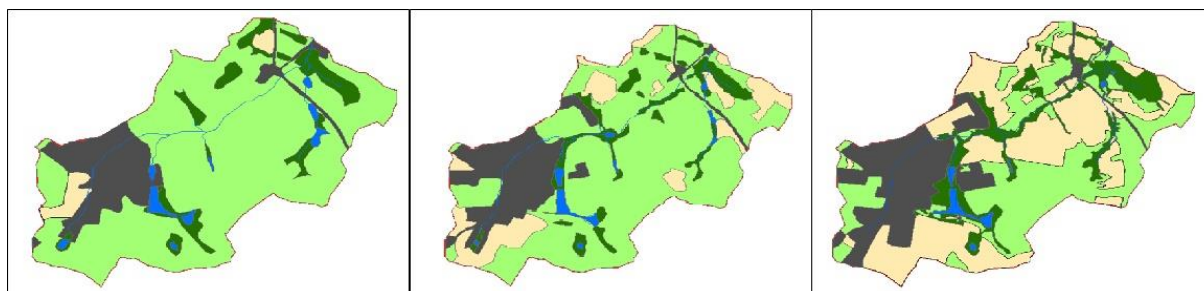
Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 16: Mapa temático de uso e ocupação do solo em 2019.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Figura 17: Comparação das classificações realizadas nos anos 1986, 2001 e 2019.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Figura 18: Distribuição percentual das classes de uso e ocupação da terra em 1986, 2001 e 2019.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

6.3. Cálculo da Curva Número (CN)

Com o resultado da análise granulométrica indicando grupo hidrológico D para a bacia do Ribeirão Tijuco Preto, juntamente com a área ocupada por cada classe, pode-se obter a Curva Número média para cada ano estudado por meio da Equação 1.

O CN considerado para área impermeável seguindo o grupo hidrológico D na Tabela 1 foi de 98, a Vegetação Arbórea foi considerada como sendo uma área livre com condições excelentes obtendo CN de 80, a Vegetação Rasteira foi considerada como área livre em condições normais sendo seu CN de 84, e Solo Exposto foi considerado como rua e estrada de terra, CN de 89. A Tabela 3 resume as áreas de cada classe e a respectiva CN média calculada para cada ano. Como pode ser visto, os valores de CN aumentam progressivamente de 1986 (84,53) até 2019 (86,83).

Tabela 3: Áreas das classes de uso e ocupação do solo para cada ano e a respectiva CN.

	Ano							
Área das classes de Uso (Km ²)	1986	1991	1996	2001	2006	2011	2016	2019
Área impermeável	3,14	3,25	3,42	3,6	3,8	4,02	4,17	4,45
Vegetação Arbórea	2	2,1	2,2	1,7	2,1	2,2	2,58	2,7
Solo exposto	0,7	2,88	4,76	2,8	2,44	3,92	4,42	7,66
Vegetação Rasteira	15,74	13,35	11,2	13,48	13,24	11,44	10,41	6,77
Corpo d'água	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Total	21,91	21,91	21,91	21,91	21,91	21,91	21,91	21,91
CN média ponderada	84,53	85,08	85,6	85,4	85,33	85,8	85,93	86,83

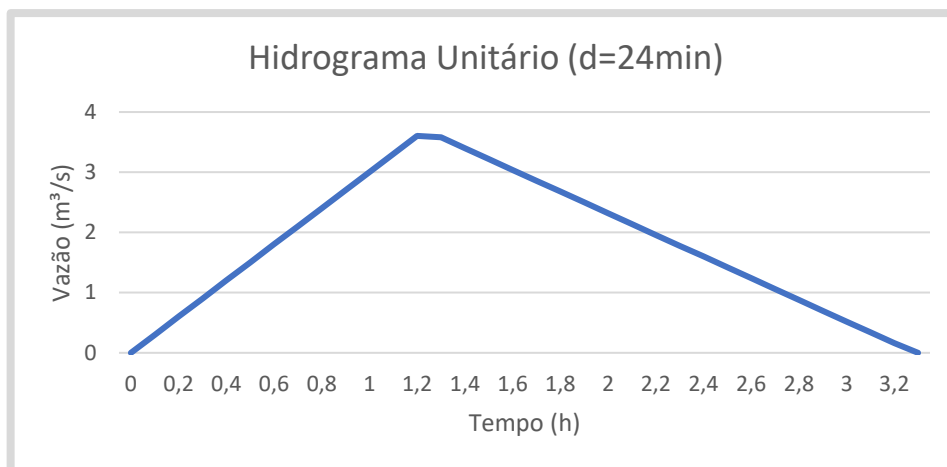
Fonte: elaborado pelo autor (2019).

6.4. Modelagem Hidrológica

A ocorrência de inundações está associada a eventos de chuvas extraordinárias, atingindo precipitação crítica e, conseqüentemente, picos de vazão máxima. Para analisar o comportamento da vazão ao longo da duração do evento chuvoso são elaborados hidrogramas, que consistem em gráficos de linha de vazão em m³/s por tempo em horas.

O Soil Conservation Service (SCS) descreve em seu método o Hidrograma Unitário Triangular, simplificando o comportamento curvilíneo da vazão em um triângulo, com a finalidade de facilitar cálculos. O hidrograma obtido na Figura 19 considerou o tempo de concentração (tc)= 1,72 horas, e a duração da precipitação d= 0,4 horas, seguindo a recomendação do método que sugere a duração estar entre 1/4tc e 1/5tc.

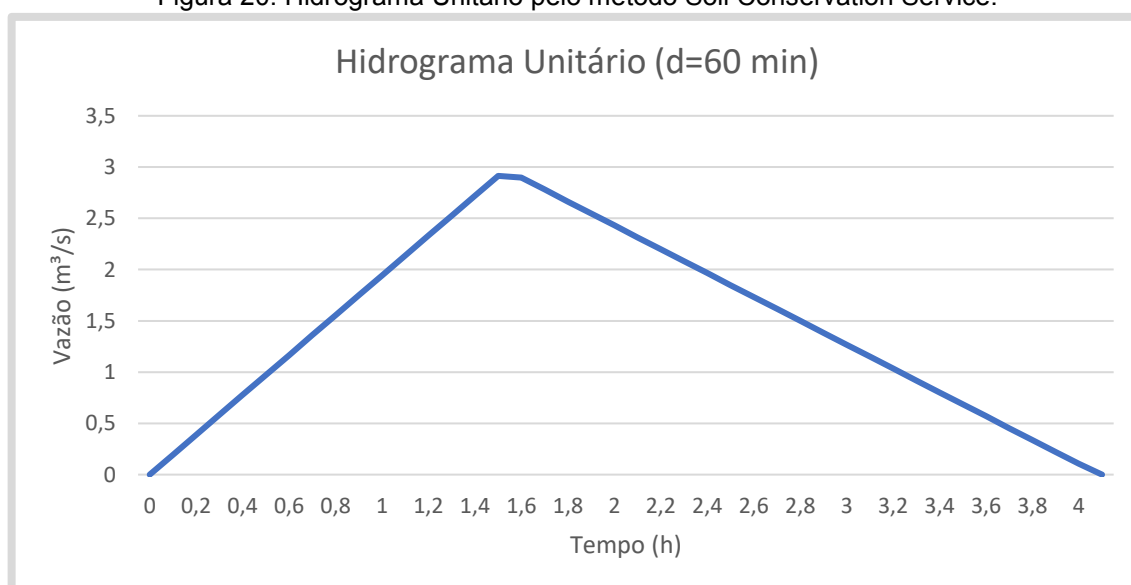
Figura 19: Hidrograma triangular unitário.



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do Hidrograma acima foi possível expandir a duração da tormenta e dimensionar o comportamento da vazão para uma duração $d=1$ hora, considerando este hidrograma como um múltiplo do primeiro. A duração adotada de 1 h foi visando estimar um evento real, os quais normalmente não ultrapassam tal tempo. Os parâmetros resultantes das equações de 2 a 6 do item 5.5 para $d=1$ h foram: $t_c=1,72$ h, $t_p=1,532$ h, $t_b=4,09$ h e $Q_p=2,976$ m³/s. O hidrograma está representado na Figura 20 abaixo:

Figura 20: Hidrograma Unitário pelo método Soil Conservation Service.



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do hidrograma unitário, que indica a vazão pelo tempo para precipitação de 1mm, é possível gerar o hidrograma real do projeto simplesmente

multiplicando cada ordenada da tabela do unitário pela precipitação efetiva (P_{ef}) para duração $d=1$ h e para os tempos de retorno (TR) de 5, 10, 20 e 50 anos.

$$P_{ef} = \frac{(P - 0.2.S)^2}{(P + 0.8.S)} \quad (12)$$

Onde: P= precipitação (mm) obtida pelas curvas IDF para $d=2$ h;

S= potencial máximo de armazenamento do solo para perda inicial correspondente a 20% da capacidade de armazenamento.

Para efeito de facilitar a visualização foram destacados os gráficos apenas dos anos de 1986, 2001 e 2019, pois a variação dos demais anos não era significativa e as linhas ficavam coincidentes com as demais impedindo identificar a variação. Abaixo nas Figuras 21, 22, 23 e 24 estão representados os hidrogramas para TR de 5,10,20 e 50, respectivamente.

Figura 21: Hidrograma da bacia de estudo para um TR de 5 anos.

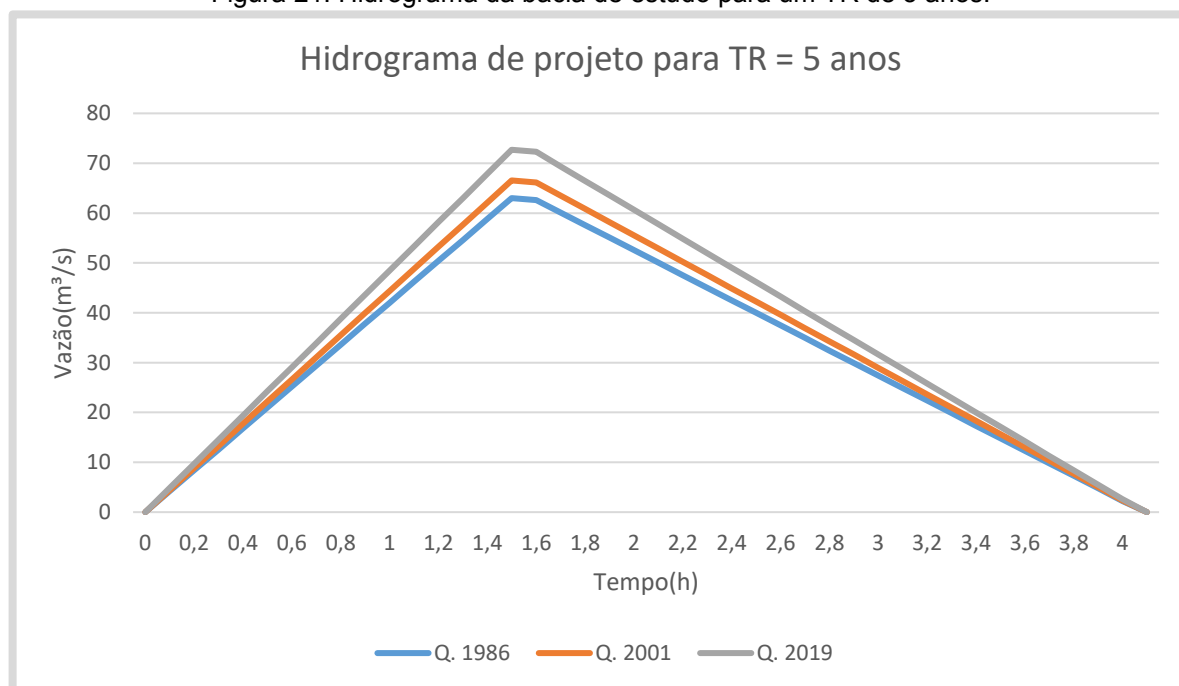
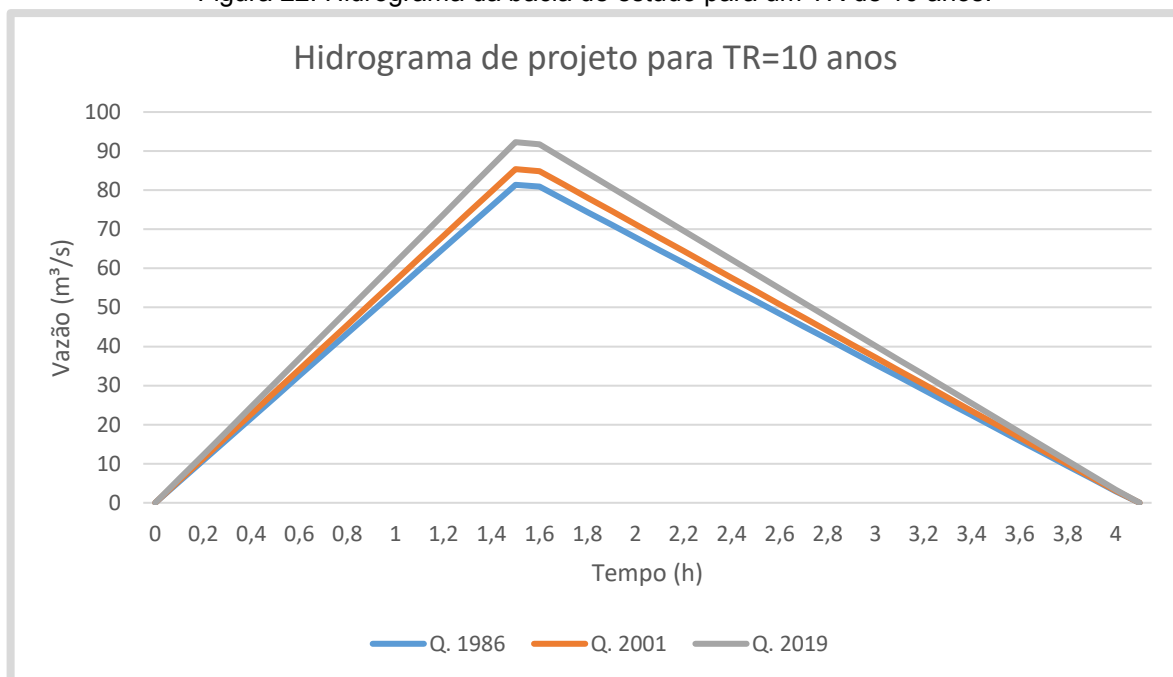
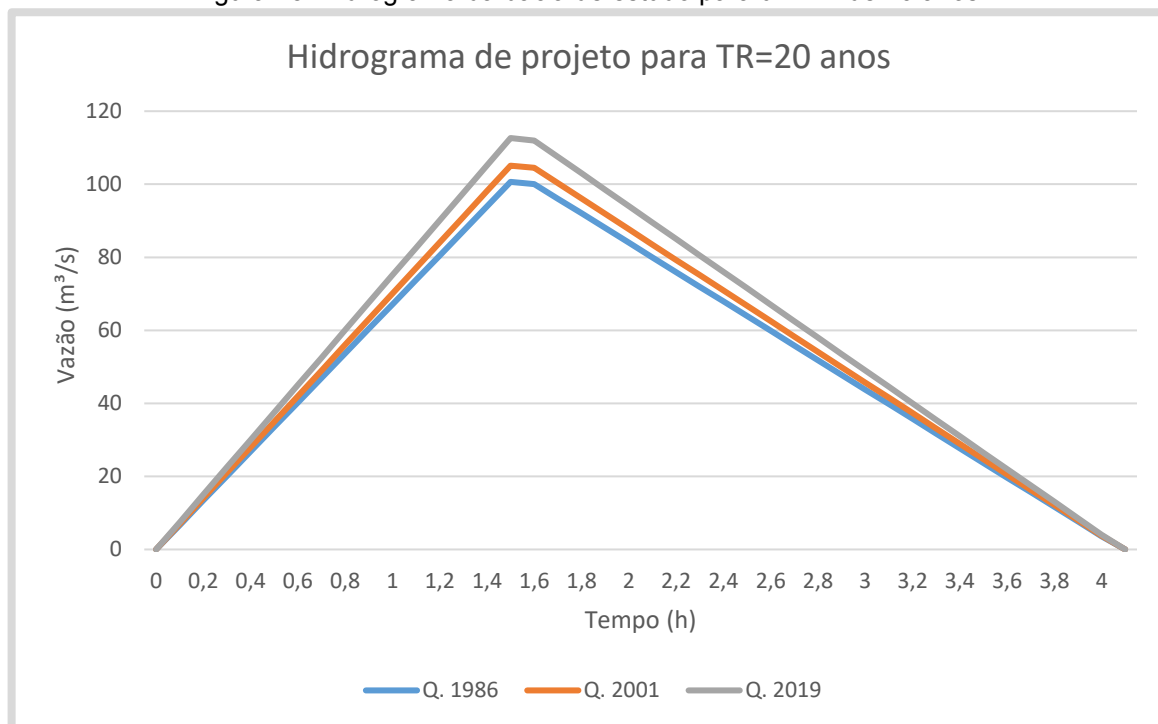


Figura 22: Hidrograma da bacia de estudo para um TR de 10 anos.



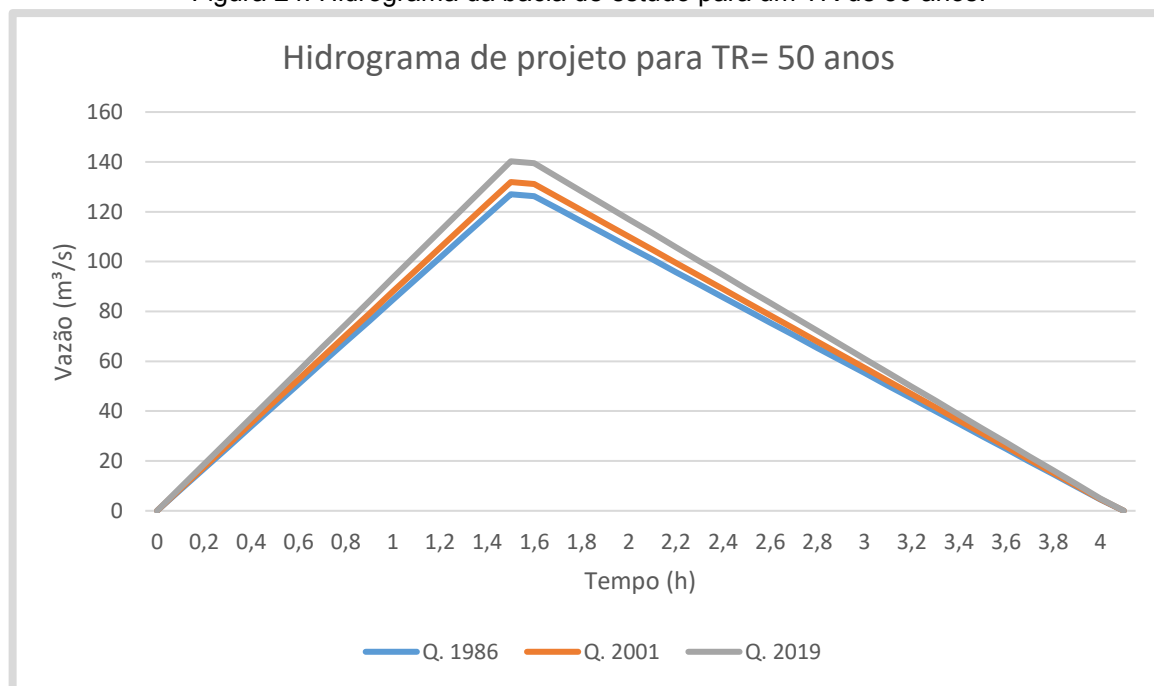
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 23: Hidrograma da bacia de estudo para um TR de 20 anos.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 24: Hidrograma da bacia de estudo para um TR de 50 anos.



Fonte: elaborado pelo autor.

A vazão máxima suportada pela bacia é estimada pela equação abaixo:

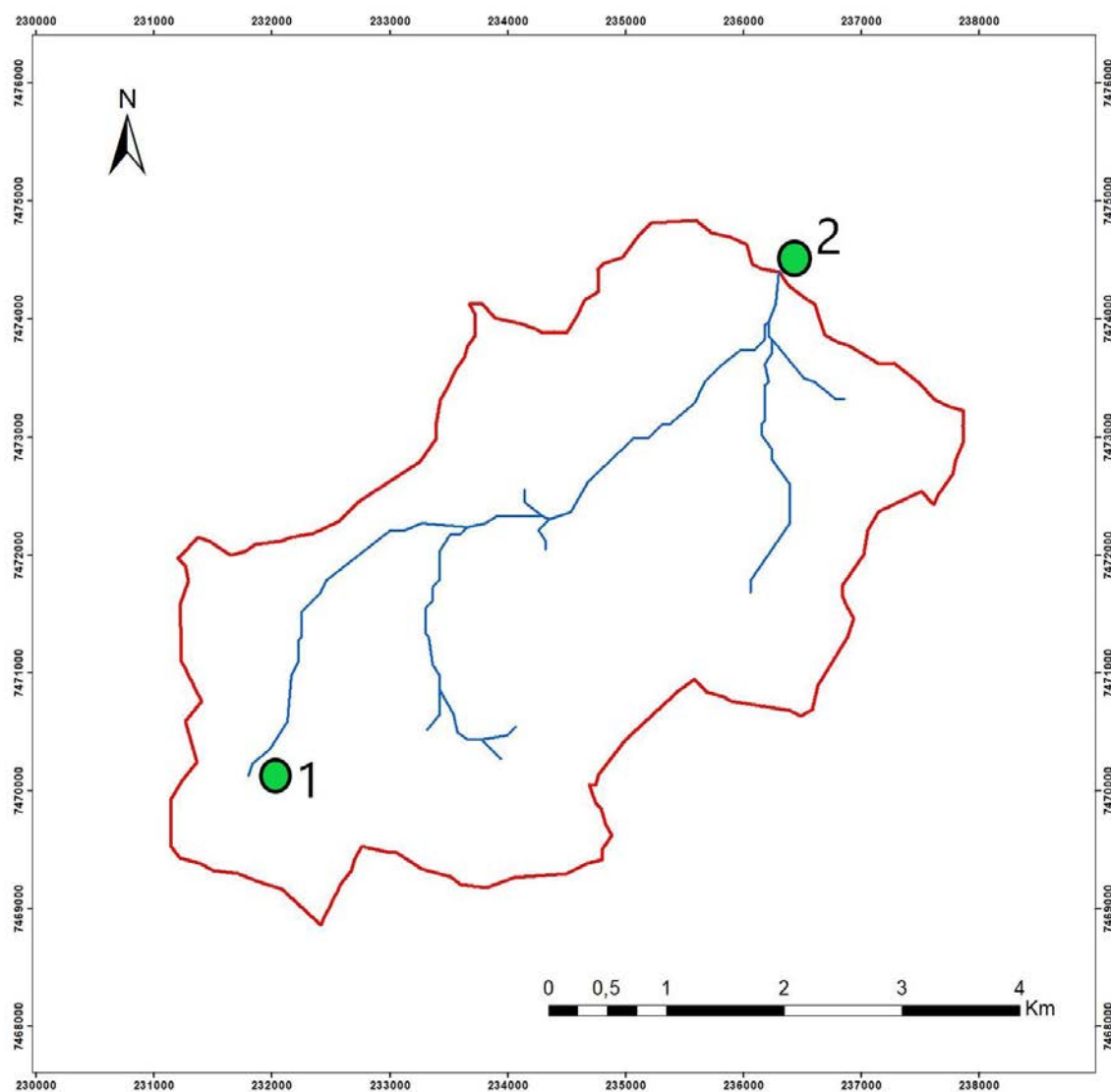
$$Q_{\text{máx}} = 2,08 \times Ad / t_p \quad (13)$$

Onde: Ad = área de drenagem (km^2), e t_p = tempo de pico (h)

A vazão máxima da bacia de estudo obtida foi de $104 \text{ m}^3/\text{s}$. Lembrando que a área de drenagem corresponde à área ocupada pelo canal do Ribeirão Tijuco Preto. As vazões máximas resultantes dos hidrogramas de cheia para TR de 5, 10, 20 e 50 anos foram de 72, 92, 112 e $140 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Portanto para precipitações de uma hora, com TR de 20 e 50 anos, há o risco de inundação na bacia.

Todas as vazões apresentadas são referentes ao exutório da bacia, ilustrado pelo ponto 2 da Figura 27. Portanto a vazão é calculada neste ponto, após o escoamento percorrer toda a bacia de estudo. O ponto 1 é a nascente do Ribeirão Tijuco Preto, portanto o fluxo na bacia de estudo se dá da esquerda para direita (montante-jusante).

Figura 25: Representação da drenagem na bacia do Ribeirão Tijuco Preto.



Fonte: elaborado pelo autor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até mesmo bacias hidrográficas sem predisposição a inundações podem tornar-se propensas ao fenômeno se houverem eventos chuvosos intensos fora do esperado, acima da dinâmica suportada pelo sistema de drenagem urbana, e as alterações feitas no uso e ocupação da terra forem acima da capacidade de suporte do meio. O estudo considera o crescimento de área impermeável historicamente, o qual se mostra lento nos últimos 33 anos.

Por conta de a bacia de estudo considerar grande parte das áreas de plantios no município de Rio das Pedras, o risco de inundações na bacia é baixo analisando o histórico do escoamento. As áreas permeáveis acabam por amenizar a velocidade e quantidade de escoamento que chega ao exutório da bacia.

Contudo se mostrou preocupante o risco de inundações para chuvas de alta intensidade e duração, portanto apesar de baixa chance, ainda há, servindo este estudo de alerta à administração pública do município e seus munícipes.

O solo do município é predominantemente argiloso, com isso a infiltração de água pluvial é lenta, favorecendo o escoamento superficial. Além disso há projetos de novos loteamentos no município dentro da bacia de estudo deste trabalho, fato que gera o crescimento de área impermeável, podendo se tornar maior do que o esperado e conseqüentemente o risco de inundações se tornar algo ainda mais preocupante.

Fica como sugestão a trabalhos futuros repensar a divisão da bacia do Ribeirão Tijuco Preto abrangendo mais a área urbana e menos as demais áreas do entorno, colocando o exutório do trecho no encontro do Ribeirão com seu primeiro afluente, e, além disso, trazer novos softwares de simulação hidrológica que considerem as características do canal de drenagem e revele os principais pontos de inundação, levando também em consideração as características das vertentes como forma, declividade e direção do fluxo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOZZI, S. L. **Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica**. 2005. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas: Rio Claro, 2005.

BACCI, Denise de La Corte; PATACA, Ermelinda Moutinho. Educação para a água. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, pp. p. 211-226, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 09 out 2018.

BALLESTERO,S.D.; LORANDI,R. & TREMOCOLDI,W.A. 2000. **Mapeamento pedológico semidetalhado da área de relevante interesse ecológico de Pedra Branca** (Tremembé,SP). Rev. Biociênc., Taubaté, 6(2): 7-15.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. ABRH, Porto Alegre, 2005. 266 p.

BRASIL - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412p.il. BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Carta do Brasil: folha topográfica de Capivari (SF-23-Y-A-IV-4). São Paulo, 1970. 1 mapa color., 60 cm x 74cm. Escala 1:50.000.

BRASIL. Petróleo Brasileiro S.A. PETROBRÁS. **Geologia de semi-detelhe do centro-leste de São Paulo**, Sebastião Maia de Andrade, Paulo César Soares. 1971. p.13-32. Escala 1:100.000.

CÂMARA MUNICIPAL DE RIO DAS PEDRAS. **Lei Complementar Nº 2.345**, de 13 de outubro de 2006. Disponível em <<https://consulta.siscam.com.br/camarariodaspedras/Documentos/Documento/12717>> . Acesso em 01 mar 2019.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. **Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1987.

CAMARGO, O.A. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas** (Edição revista e atualizada), Campinas, n. 106, p. 46-77, 2009. Disponível em:

<http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/BT_106.pdf>. Acesso em: 12 mai 2019.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, 302 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Ed. Blucher, 1980.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil. Equações Intensidade-Duração-Frequência**. Salvador, 2016. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17582/idf_riodaspedras_sp_susc_et.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 29 fev 2019.

EM-DAT: OFDA/CRED **International Disaster Database** - Université Catholique de Louvain, Belgium (2004). Disponível em: <<https://www.emdat.be/>>. Acesso em 23 mar 2019.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as Inundações no Brasil**. XVI Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Porto Alegre, ABRH, 2005.

LANNA, A. E. **Regularização de vazões em reservatórios**. In: TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: Ciência e aplicação; 4ª ed. Porto Alegre: ed. UFRGS/ ABRH, 2009.

MORAES, Isabel Cristina. **Análise da dinâmica do uso da terra e sua interferência em inundações na cidade De Rio Claro (SP)**. Dissertação de mestrado. UNESP – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Câmpus de Rio Claro, 2011.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba-SP** (escala 1:100.000): estudos de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. 1992 2v. 224p. Tese (Doutorado em Geotecnia). – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PIVETTA, Marcos. **Ilha de calor na Amazônia**. Pesquisa FAPESP, v. 200, Out. 2012. Disponível em <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/ilha-de-calor-na-amazonia/>>. Acesso em 09 out 2018.

PORTAL DO DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA(DAAE). **Banco de Dados Hidrológicos – Pluviométricos Posto D4-068**. Disponível em <<http://www.hidrologia.daae.sp.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em 29 mar 2019.

PORTO, R. L. et al. Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: Ciência e aplicação; 4ª ed. Porto Alegre: ed. UFRGS/ ABRH, 2009.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. **Material Didático: arquivos de transparências** (CD). Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

SCS - Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Chapter 9. **Hydrologic Soil-Cover Complexes**. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. July, 2004.

SCS - Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Chapter 7. **Hydrologic Soil Groups**. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. May, 2007.

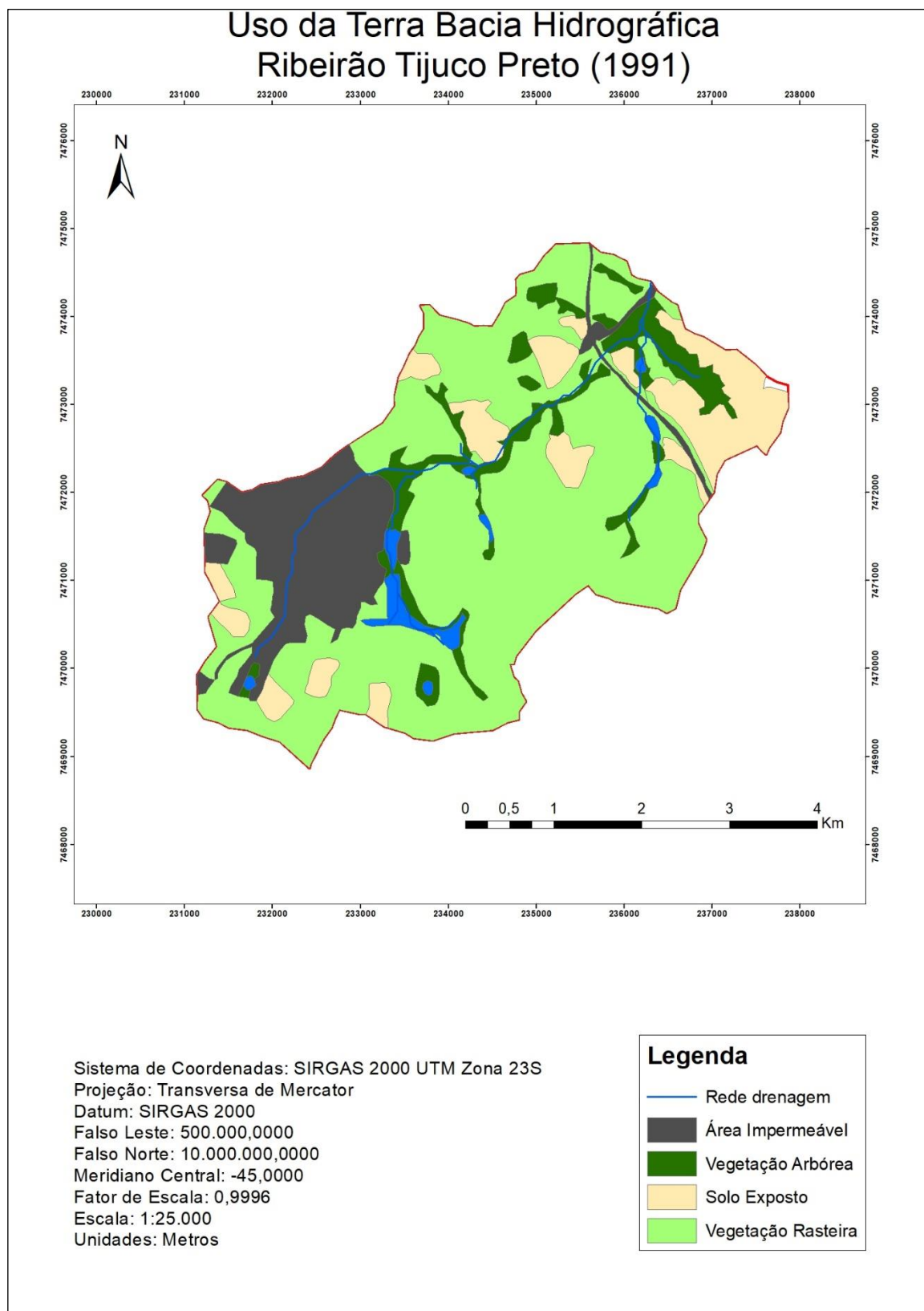
SILVA, J.P.R.P. da. **Mapeamento de inundações no Brasil: proposta de gestão ambiental através de um sistema de informações geográficas**. p.861-873. IX Seminário De Pós-Graduação Em Geografia Da Unesp Rio Claro, 2009. Rio Claro, nov 2009.

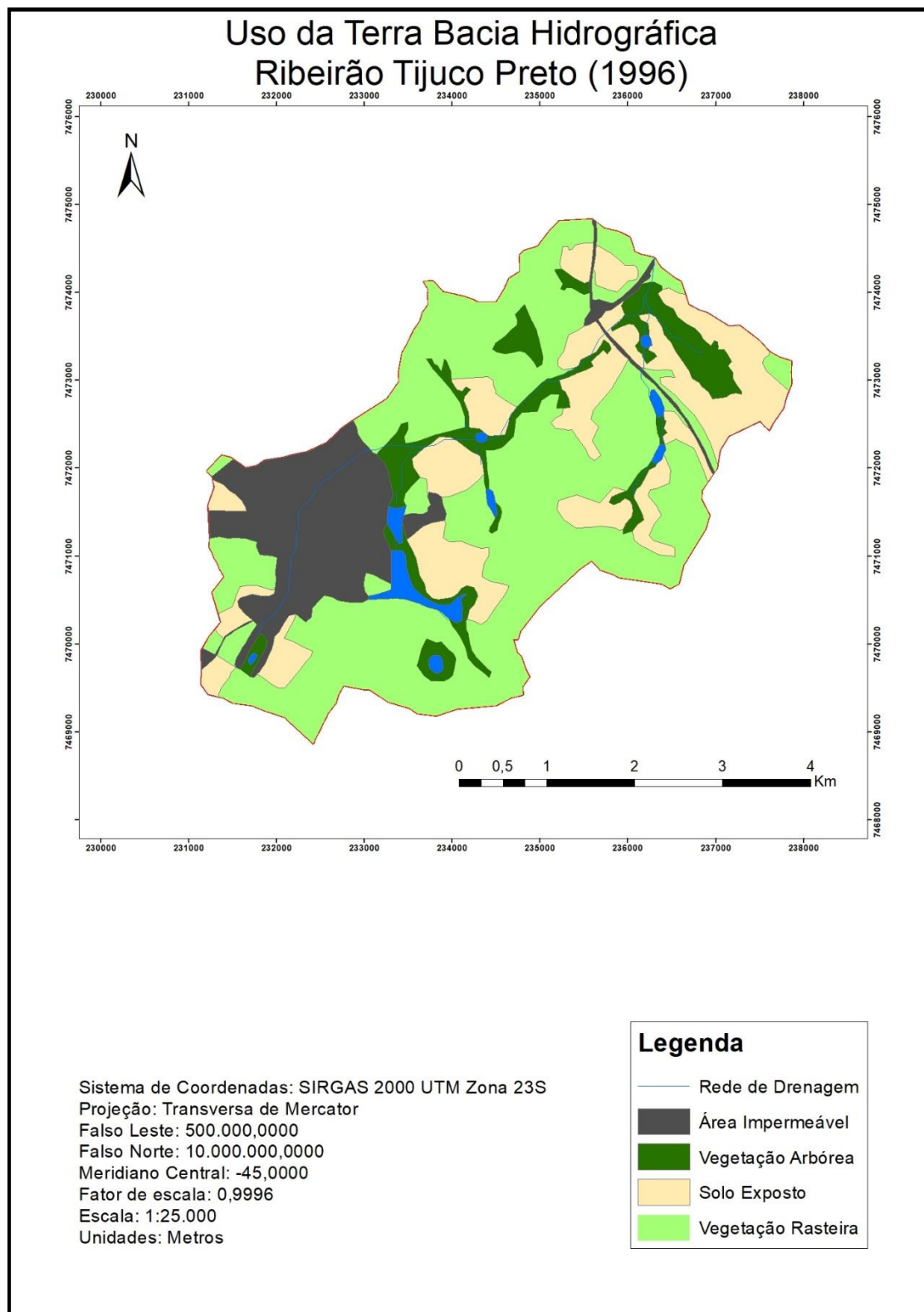
SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico E Bacia Hidrográfica. In: Tucci, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência E Aplicação**; 4ª Ed. Porto Alegre: Ed. Ufrgs/ Abrh, 2009. P. 35-51.

USDA – United States Department of Agriculture. **Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55**, 1986. Disponível em: < https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf >. Acesso em 25 mar 2019.

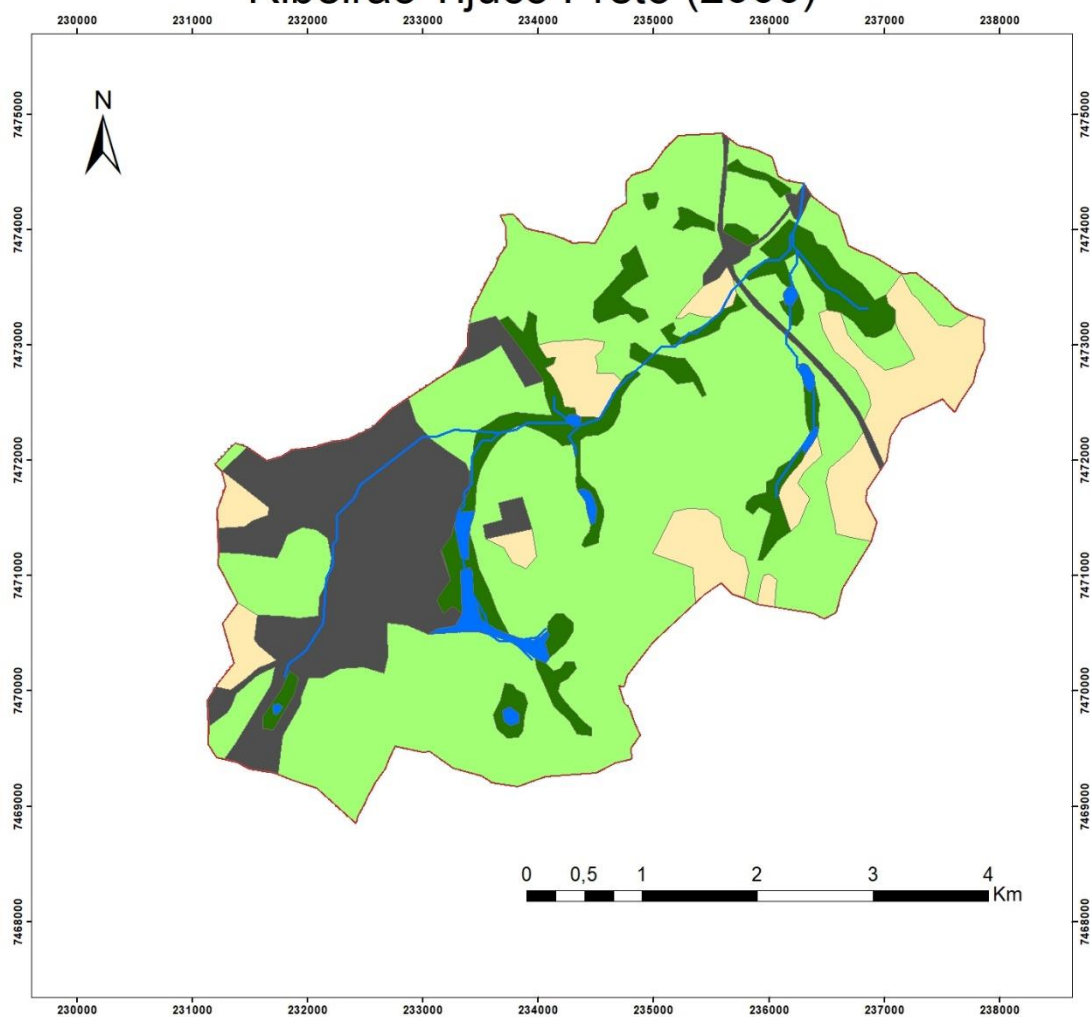
VIEGAS FILHO, J.; LANNA, A.E.L.; MACHADO, A.A. A Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Apoio à Decisão em Recursos Hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1999, Belo Horizonte. **Anais...** CD e Livro de Resumos. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999. v. LR. p. 60.

APÊNDICE 1: MAPAS TEMÁTICOS





Uso da Terra Bacia Hidrográfica Ribeirão Tijuco Preto (2006)

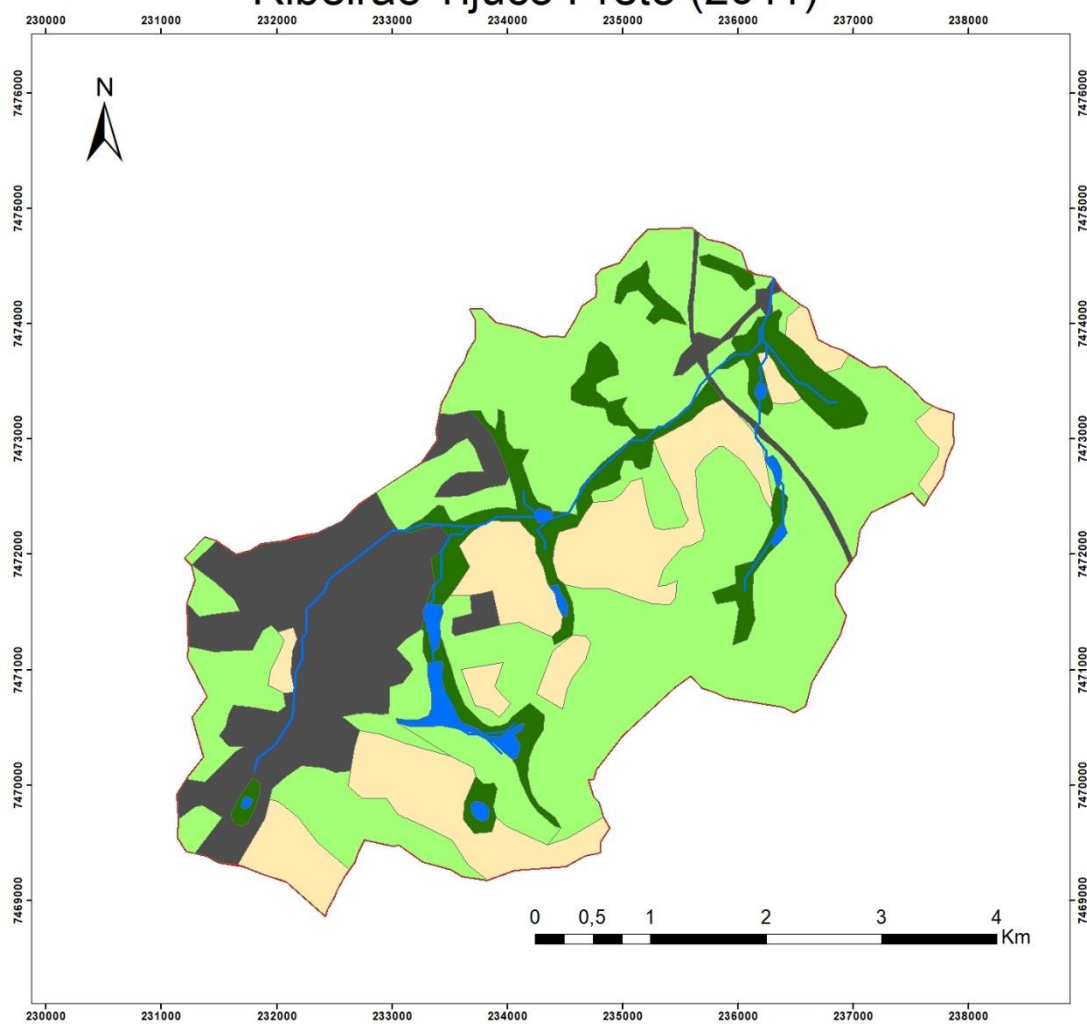


Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S
Projeção: Transversa de Mercator
Datum: SIRGAS 2000
Falso Leste: 500.000,0000
Falso Norte: 10.000.000,0000
Meridiano Central: -45,0000
Fator de Escala: 0,9996
Escala: 1:25.000
Unidades: Metros

Legenda

- Rede de Drenagem
- Área Impermeável
- Vegetação Arbórea
- Solo Exposto
- Vegetação Rasteira

Uso da Terra Bacia Hidrográfica Ribeirão Tijuco Preto (2011)

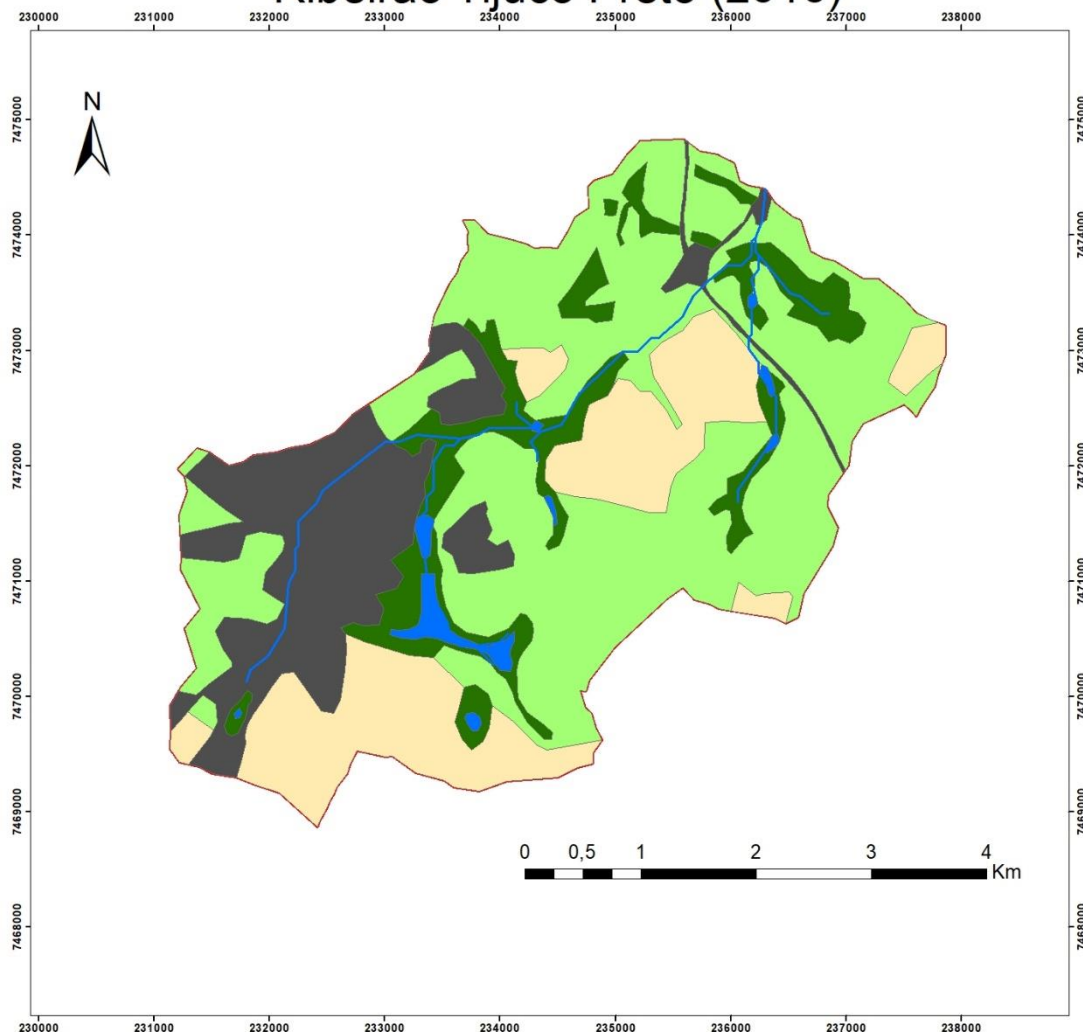


Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S
Projeção: Transversa de Mercator
Datum: SIRGAS 2000
Falso Leste: 500.000,0000
Falso Norte: 10.000.000,0000
Meridiano Central: -45,0000
Fator de Escala: 0,9996
Escala: 1:25.000
Unidades: Metros

Legenda

- Rede de Drenagem
- Área Impermeável
- Vegetação Arbórea
- Solo Exposto
- Vegetação Rasteira

Uso da Terra Bacia Hidrográfica Ribeirão Tijuco Preto (2016)



Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S
 Projeção: Transversa de Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 Falso Leste: 500.000,0000
 Falso Norte: 10.000.000,0000
 Meridiano Central: -45,0000
 Fator de Escala: 0,9996
 Escala: 1:25.000
 Unidades: Metros

Legenda

-  Rede de Drenagem
-  Área Impermeável
-  Vegetação Arbórea
-  Solo Exposto
-  Vegetação Rasteira