

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO

JANAINA SANTANA DOS SANTOS

DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E OS ALAGAMENTOS E
ENCHENTES NA BACIA DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA (PR)

PONTA GROSSA
2020

JANAINA SANTANA DOS SANTOS

DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E OS ALAGAMENTOS E
ENCHENTES NA BACIA DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA (PR)

Dissertação apresentada para a obtenção do título de mestre em Gestão do Território na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de concentração em Gestão do Território Sociedade e Natureza.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Méri Carvalho

PONTA GROSSA
2020

Santos, Janaina Santana dos

S237 Dinâmica do uso e ocupação da terra e os alagamentos e enchentes na
bacia do arroio da Ronda em Ponta Grossa (PR) / Janaina Santana dos Santos.
Ponta Grossa, 2020.
119 f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do Território - Área de Concentração:
Gestão do Território: Sociedade e Natureza), Universidade Estadual de Ponta
Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Méri Carvalho.

1. Dinâmica temporal. 2. Curve number. 3. Drenagem urbana. 4.
Precipitação. I. Carvalho, Silvia Méri. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Gestão do Território: Sociedade e Natureza. III.T.

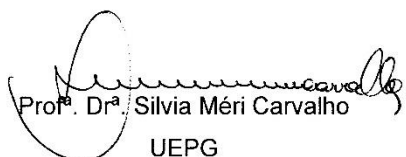
CDD: 910

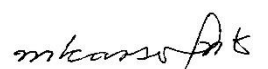
TERMO DE APROVAÇÃO

JANAINA SANTANA DOS SANTOS

**“DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E OS ALAGAMENTOS E
ENCHENTES NA BACIA DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA - PR”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:


Prof. Dr.ª Silvia Méri Carvalho
UEPG


Prof. Dr.ª Maria Lígia Cassol Pinto
UEPG


Prof. Dr. Leandro Redin Vestena
UNICENTRO

Ponta Grossa, 6 de março de 2020.

Dedico

Ao meu esposo Willian, o principal responsável pela concretização deste estudo, pois é meu alicerce, meu companheiro. Agradeço-o pelo incentivo, dedicação, motivação diária e pelo seu amor incondicional.

A meus pais Orlando e Regina por sempre me apoiarem, incentivarem e com muitos sacrifícios e trabalho árduo propiciaram que muitos dos meus sonhos fossem realizados.

A Deus por me dar forças e luz enquanto houve escuridão.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela oportunidade de cursar uma Pós-Graduação gratuita e de qualidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade dada para que pudesse cursar o Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo fornecimento da bolsa de Mestrado, a qual foi essencial para a realização desta pesquisa.

À professora Dra. Silvia Méri Carvalho pela orientação neste trabalho; pelos compartilhamentos de conhecimentos; pelos auxílios nas atividades de campo; pelas conversas motivadoras e impulsionadoras na busca de novas possibilidades e pelo contato com as pesquisas na área de arborização urbana.

Ao 2º Grupamento do Corpo de Bombeiros de Ponta Grossa pela disponibilização dos dados de ocorrências de alagamentos no município de Ponta Grossa, principalmente ao Subtenente Roque e ao Major Spak que gentilmente nos receberam e forneceram estes dados.

À Casa da Memória de Ponta Grossa, pelo acesso ao acervo de jornais e obtenção de notícias de eventos provocados por intensas precipitações no município de Ponta Grossa. Agradeço principalmente a funcionária Carla Scariotte, pela dedicação em encontrar os volumes de jornais que foram analisados.

Ao Instituto das Águas do Paraná e a Agência Nacional de Águas pelo fornecimento dos dados de precipitação utilizados no trabalho.

Ao Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelo fornecimento das imagens de satélite RapidEye e QuickBird e arquivos digitais das curvas de nível da área de estudo.

Ao Laboratório de Cartografia do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa pelo acesso as fotografias aéreas do ano de 1980 da área de estudo utilizadas na pesquisa.

Ao Instituto de Planejamento de Ponta Grossa (IPLAN) e ao funcionário John Goes pelo fornecimento de dados de pavimentação das ruas de Ponta Grossa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia pelos ensinamentos que com toda a certeza farão parte de minha carreira profissional.

Ao professor Dr. Marcio José Ornat por todo o trabalho e esforço para coordenar de maneira eficiente e transparente o Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Ao professor Dr. Isonel Sandino Meneguzzo por me receber em sala de aula durante a realização do Estágio de Docência.

À professora Paula Mariele Meneguzzo pela realização de sua pesquisa de Mestrado sobre a área da bacia do arroio da Ronda, trabalho essencial para a realização deste estudo.

Aos professores doutores Leandro Redin Vestena e Maria Ligia Cassol Pinto pelas contribuições no exame de qualificação e na defesa da dissertação.

A todos os professores os quais tive oportunidade de ser aluna. Agradeço todos os ensinamentos e lições de vida, pois suas ações propiciaram a minha formação acadêmica e traços da minha identidade profissional como professora de Geografia.

Aos secretários do Programa de Pós-Graduação em Geografia André Rizental Koubik e Raphael Philip de Queiroz Rocha, por todo trabalho e dedicação.

Aos colegas do Laboratório de Estudos Socioambientais (LAESA) pela amizade, pelo compartilhamento de conhecimentos, de suas vivências e experiências profissionais.

À geógrafa Ariadne Patrícia Alves pelo imenso auxílio e dedicação durante as fases iniciais desta pesquisa.

Weight of living, Part I

There's an albatross around your neck,
All the things you've said,
And the things you've done,
Can you carry it with no regrets,
Can you stand the person you've become,
Ooh there's a light
Ooh there's a light

Your Albatross, let it go, let it go,
Your Albatross shoot it down, shoot it down
When you just can't shake the
Heavy weight of living

Stepping forward out into the day
Shrugging off the dust and memory
Though it's soaring still above your head
It is out of sight and none shall see
Ooh there's a light
Ooh there's a light

Your Albatross, let it go, let it go,
Your Albatross shoot it down, shoot it down
When you just can't shake the
Heavy weight of living
When you just can't seem to shake
The weight of living

It's the sun in your eyes, in your eyes
It's the sun in your eyes, in your eyes
It's the sun in your eyes, in your eyes
It's the sun in your eyes, in your eyes

Your Albatross, let it go, let it go,
Your Albatross shoot it down, shoot it down
When you just can't shake the
Heavy weight of living
When you just can't seem to shake
The weight of living

The weight of living
The weight of living
The weight of living
The weight of living

DANIEL SMITH / BASTILLE (2012)
Album All This Bad Blood / Virgin Records Ltd

RESUMO

O uso e ocupação da terra é uma temática estudada com profundidade na ciência geográfica, por se tratar de um assunto que possui o intuito de demonstrar as modificações espaciais provocadas pelas inúmeras atividades humanas. O processo de intensa impermeabilização do solo nas áreas urbanas consiste em uma modificação significativa pois contribui para que ocorra um aumento no escoamento superficial das águas pluviais, que se não conduzidas e tratadas de maneira eficiente e sustentável podem ocasionar episódios de alagamentos e enchentes. Neste contexto, a bacia do arroio da Ronda na cidade de Ponta Grossa (PR) é objeto de estudo, pois ao longo dos anos tem-se registrado ocorrências de enchentes e alagamentos ocasionando inúmeros prejuízos à população local. A bacia do Arroio da Ronda ocupa a porção sudoeste do perímetro urbano do município de Ponta Grossa, no estado do Paraná, com uma área total de 34,43 km². As nascentes do arroio estão localizadas em área densamente urbanizada e sua foz no rio Tibagi. Para a pesquisa o recorte temporal utilizado refere-se aos anos de 1980 a 2017. A área da bacia do arroio da Ronda apresentou uma dinâmica de uso da terra diversificada ao longo dos 37 anos analisados, onde o adensamento urbano substituiu áreas de vegetação nativa e campo. Ao longo deste período foram registradas 60 ocorrências de alagamentos e enchentes. Portanto, a questão central da pesquisa consistiu em compreender de que modo as transformações do uso da terra na bacia podem influenciar no aumento do escoamento superficial. O objetivo geral foi compreender a relação entre os episódios de alagamentos e enchentes na bacia e o aumento do escoamento superficial a partir de diferentes usos e ocupações da terra entre os anos de 1980 a 2017. Foi utilizado o modelo hidrológico Curve Number (CN, SCS, 1972), que considera a combinação das variáveis uso e ocupação da terra e dados físicos (tipos de solos), para demonstrar e espacializar as áreas mais suscetíveis à geração de escoamento superficial. A grande maioria das ocorrências está situada nas porções noroeste e nordeste da bacia, próximas aos cursos de água e em áreas de baixa declividade (0 a 8%). Os resultados demonstraram que o uso da terra influencia de forma parcial as ocorrências de alagamentos e enchentes, principalmente quando associado à substituição de áreas de vegetação nativa e campos por áreas urbanizadas e impermeabilizadas. Entretanto, as características físicas da bacia, como as baixas declividades e tipos de solo também mostraram forte influência para ocorrência destes fenômenos.

Palavras-chaves: Dinâmica temporal; Curve Number; Drenagem urbana; Precipitação.

ABSTRACT

The use and occupation of land is a theme studied in depth in geographic science, because it is a subject that aims to demonstrate the spatial changes caused by countless human activities. The process of intense soil waterproofing in urban areas consists of a significant modification, since it contributes to an increase in the runoff of rainwater, which if not conducted and treated in an efficient and sustainable manner they can cause episodes of overflow and floods. In this context, the Ronda stream watershed in the city of Ponta Grossa (PR) is the object of study, because over the years there have been occurrences of floods causing numerous losses to the local population. The stream of Ronda watershed occupies the southwestern portion of the urban perimeter of the municipality of Ponta Grossa, in the state of Paraná, with a total area of 34,43 km². The springs of the stream are located in a densely urbanized area and its mouth on the Tibagi River. For the research, the time frame used refers to the years 1980 to 2017. The area of the Ronda stream watershed showed a diversified land use dynamics over the 37 years analyzed, where urban density has replaced areas of native vegetation and fields. During this period, 60 occurrences of overflow and floods were recorded. Therefore, the central question of the research was to understand how the transformations of land use and land occupation in the watershed of stream can influence the increase in runoff. The general objective was to understand the relationship between overflow and floods episodes in the watershed and the increase in runoff from different land uses and occupations between the years 1980 to 2017. The hydrological model Curve Number (CN, SCS, 1972) was used, which considers the combination of land use and occupation variables and physical data (soil types), to demonstrate and spatialize the areas most susceptible to the generation of runoff. The vast majority of occurrences are located in the northwest and northeast portions of the watershed, close to water courses and in areas with low declivity (0 to 8%). The results showed that land use partially influences the occurrence of overflow and floods, especially when associated with the replacement of areas of native vegetation and fields by urbanized and waterproofed areas. However, the physical characteristics of the watershed, such as the low slopes and soil types, showed a strong influence for the occurrence of these phenomena.

Key-words: Temporal dynamics; Curve Number; Urban drainage; Precipitation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	—	Ciclo hidrológico.....	18
FIGURA 2	—	Tipos de escoamentos da água da chuva.....	23
FIGURA 3	—	Perfil esquemático diferenciando inundação, enchente e alagamento.....	27
FIGURAS 4A e 4B	—	Alterações do meio ambiente e alterações hidrológicas advindas do processo de urbanização.....	35
FIGURA 5	—	Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.....	38
FIGURA 6	—	Localização da bacia do arroio da Ronda no município de Ponta Grossa (PR).....	40
FIGURA 7	—	Hierarquia fluvial da bacia do Arroio da Ronda.....	41
FIGURA 8	—	Altimetria na área da bacia do arroio da Ronda.....	42
FIGURA 9	—	Declividade na área da bacia do arroio da Ronda.....	43
FIGURA 10	—	Litologia na bacia do Arroio da Ronda.....	44
FIGURA 11	—	Distribuição dos solos na bacia do Arroio da Ronda.....	47
FIGURA 12	—	Classes de uso da terra definidas para o ano de 1980, 2006, 2014.....	53
FIGURA 13	—	Pluviograma da bacia do arroio da Ronda- Precipitação mensal e anual de 1980 a 2017.....	65
FIGURA 14	—	Precipitação dos anos que registraram ocorrências de alagamentos e enchentes.....	66
FIGURA 15	—	Espacialização das ocorrências de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da Ronda entre 1980-2017.....	67
FIGURA 16	—	Ocorrências de alagamentos e enchentes por ano analisado (1980-2017).....	68
FIGURA 17	—	Ocorrências de alagamentos e enchentes por meses do ano (1980-2017).....	69
FIGURA 18	—	Ocorrências de alagamento e enchente em função do volume de precipitação diária.....	70
FIGURA 19	—	Ocorrências de alagamento e enchentes por bairro da bacia do arroio da Ronda.....	70
FIGURA 20	—	Tipos de pavimentação das ruas da bacia do arroio da Ronda.....	71

FIGURA 21A	—	Direção de fluxo da água na bacia do arroio da Ronda.....	73
FIGURA 21B	—	Acumulação de fluxo da água na bacia do arroio da Ronda.....	74
FIGURA 22	—	Traçado das Ruas Caramuru e Sertanópolis na bacia do arroio da Ronda.....	75
FIGURAS 23A e 23B	—	Perfis longitudinais - Arroio da Ronda na área urbana e afluente boca da Ronda.....	77
FIGURAS 23C e 23D	—	Perfis longitudinais - Afluente arroio do Padre e afluente do autódromo.....	78
FIGURA 24	—	Dinâmica do uso e ocupação do uso da terra na bacia do arroio da Ronda em 1980.....	80
FIGURA 25	—	Dinâmica do uso e ocupação do uso da terra na bacia do arroio da Ronda em 2006.....	82
FIGURA 26	—	Dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia do arroio da Ronda em 2014.....	84
FIGURAS 27A e 27B	—	Classe cidade representada por áreas urbanizadas.....	85
FIGURAS 28A e 28B	—	(A) Unidade de Conservação Parque Mata Boca da Ronda (B) Vegetação Nativa.....	85
FIGURAS 29A e 29B	—	Áreas de vegetação de campo na bacia do arroio da Ronda.....	86
FIGURA 30	—	Áreas de cultivos temporários diversificados.....	87
FIGURAS 31A e 31B	—	Áreas ocupadas por vegetação de reflorestamento.....	87
FIGURA 32	—	Área de solo exposto (expansão urbana) na bacia.....	88
FIGURA 33	—	Área das classes de uso da terra (1980-2006-2014) na bacia do arroio da Ronda.....	89
FIGURAS 34A, 34B, 34C, 34D, 34E, 34F	—	CN e escoamento superficial (mm) da bacia do arroio da Ronda em 1980, 2006 e 2014.....	92
FIGURAS 35A e 35B	—	Rua Caramuru no bairro Contorno em Ponta Grossa.....	97
FIGURAS 36A e 36B	—	Enchente na BR-376 (km 494) em uma ponte sobre o arroio da Ronda em 1998 e em 2019.....	97
FIGURA 37	—	Precipitação em função da declividade da bacia.....	99
FIGURA 38	—	Ocorrências em função da declividade e tipos de solos na bacia.....	100

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	—	Taxa e infiltração de água no solo de acordo com o tipo de urbanização.....	35
QUADRO 2	—	Causas e efeitos da urbanização na ocorrência de inundações, enchentes e alagamentos.....	35
QUADRO 3	—	Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II de umidade).....	58
QUADRO 4	—	Classificação hidrológica dos solos para as condições dos solos brasileiros.....	59
QUADRO 5	—	Classes de solos da Bacia do Arroio da Ronda de acordo com a classificação hidrológica de solos proposta pelo SCS e adaptada por Sartori et al. (2005a).....	61
QUADRO 6	—	Condições de unidade antecedente do solo.....	62
QUADRO 7	—	Modificação do uso da terra (1980-2014) e a localização das ocorrências de 1990, 2000 e 2010 que se situaram em área não urbanizada no mapeamento do uso da terra de 1980.....	96

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO 1 - INFLUÊNCIA DOS CONDICIONANTES FÍSICOS E SOCIAIS PARA AS OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E ENCHENTES.....	16
1.1. EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E A INFLUÊNCIA NAS OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E ENCHENTES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	16
1.2. ALAGAMENTOS, ENCHENTES E INUNDAÇÕES: ASPECTOS CONCEITUAIS.....	25
1.3. DRENAGEM URBANA E A RELAÇÃO COM ALAGAMENTOS E ENCHENTES.....	27
1.4. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E O PROCESSO DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS.....	32
CAPÍTULO 2 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	37
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
2.2. BASE DE DADOS.....	48
2.3. USO DA TERRA.....	51
2.4. CURVE NUMBER (CN) E MODELOS HIDROLÓGICOS.....	54
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
3.1. OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E ENCHENTES.....	64
3.2. DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	79
3.3. CURVE NUMBER (CN).....	90
3.4. DISCUSSÕES.....	98
CONCLUSÕES.....	103
REFERÊNCIAS.....	106
ANEXO A - Quadro com as informações de todas as ocorrências de alagamentos e enchentes registradas na bacia do arroio da Ronda entre 1980 a 2017.....	117

INTRODUÇÃO

O uso e ocupação da terra é uma temática estudada com profundidade na ciência geográfica, por se tratar de um assunto que possui o intuito de demonstrar as modificações espaciais provocadas pelas inúmeras atividades humanas. A dinâmica do uso e ocupação da terra contempla uma variável muito importante, o tempo, isto é, as diferentes transformações do espaço no decorrer dos anos e a possível comparação destas modificações.

Esta dinâmica propicia a análise das ocorrências de diversos fenômenos como as enchentes e alagamentos, por vezes, associadas aos diferentes usos e ocupações da terra, tornando possível o diagnóstico do envolvimento na geração e/ou agravamento destas ocorrências, que impactam diretamente no cotidiano humano.

As ocorrências de enchentes e alagamentos tem sido intensificadas pela urbanização em decorrência da ampliação de áreas impermeabilizadas, que por sua vez, propiciam o aumento do escoamento superficial das águas das chuvas ocasionando alagamentos. Nas áreas urbanas pode ocorrer o desequilíbrio dos sistemas fluviais pelo assoreamento de canais fluviais por sedimentos e lixo, diminuindo a seção do canal fluvial podendo provocar enchentes (TUCCI, 2005). Os sistemas de drenagem de águas pluviais ineficientes contribuem para as ocorrências de alagamentos nas áreas urbanas.

No município de Ponta Grossa e mais especificamente na bacia do Arroio da Ronda tem-se registrado episódios de alagamentos, enchentes, enxurradas, deslizamentos e voçorocas e em razão disso alguns estudos de cunho hidrológico e geomorfológico sobre área da bacia foram realizados como os de Driedrichs et al. (2009) e Meneguzzo (2009).

Esta pesquisa agrega conhecimento aos estudos já realizados, destacando a atenção que deve ser dada a área, justamente pela suscetibilidade em ocorrer enchentes e alagamentos, auxiliando projetos futuros de gestão e planejamento urbano e ambiental e a devida regulamentação do uso do solo nas áreas urbanas. Também alerta sobre o impacto da urbanização na dinâmica dos processos hidrológicos, como potencializador de aumento de áreas suscetíveis a alagamentos e enchentes. Um maior conhecimento gerado pode auxiliar na implementação de

políticas públicas por meio de medidas estruturais e não estruturais eficazes como: a manutenção dos sistemas de drenagem urbana, disciplinamento do uso e ocupação da terra e educação ambiental de caráter formal e não formal.

Para dar inteligibilidade aos fenômenos de enchentes e alagamentos é essencial a utilização de modelos hidrológicos, que podem auxiliar os estudos dos processos hidrológicos das bacias hidrográficas, portanto, nesta pesquisa utilizou-se o modelo Curve Number (CN), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, atual *National Resource Conservation Service* (NRCS).

A questão central da pesquisa visa compreender de que modo às transformações do uso e ocupação da terra, na bacia do arroio da Ronda em Ponta Grossa (PR), influenciam no aumento do escoamento superficial. A partir disso, verificar a relação entre os episódios de alagamentos e enchentes existentes na bacia com o aumento do grau de impermeabilização do solo.

Na pesquisa estabeleceu-se como objetivo geral compreender a relação entre os episódios de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da Ronda em Ponta Grossa (PR) e o aumento do escoamento superficial a partir de diferentes usos e ocupações da terra entre os anos de 1980 a 2017.

Para a coerente execução do objetivo geral foram estabelecidos os objetivos específicos, sendo estes: Demonstrar as transformações do uso e ocupação da terra na bacia do arroio da Ronda no período de 1980 a 2017; Avaliar o escoamento superficial na bacia hidrográfica de acordo com o tipo de uso e ocupação da terra, utilizando a metodologia Curve Number (SCS/USA); Identificar a distribuição espacial dos pontos de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da Ronda.

O trabalho está organizado em três capítulos, sendo o primeiro destinado à estruturação da base teórica, no qual se aborda os referenciais teórico-metodológicos e aspectos conceituais como eventos extremos, alagamentos, enchentes e inundações, além da relação da drenagem urbana e a impermeabilização do solo com os referidos eventos.

No segundo capítulo há a descrição do recorte espacial adotado, a bacia do arroio da Ronda, além dos procedimentos metodológicos utilizados no decorrer da pesquisa, como a adoção do modelo Curve Number (CN), que produz resultados satisfatórios a partir da combinação de dados físicos e de uso e ocupação da terra

das bacias hidrográficas, sendo aqui utilizado para demonstrar e espacializar as áreas mais suscetíveis à geração de escoamento superficial.

Por fim o terceiro capítulo aborda os resultados e discussões, espacializando os pontos de alagamentos e enchentes e a dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia, além da aplicação da metodologia do CN, incluindo a correlação entre uso da terra, tipo de solo, declividade e precipitação na área de estudo, com o intuito de explicar a suscetibilidade da área da bacia para ocorrer enchentes e alagamentos.

CAPÍTULO 1 - INFLUÊNCIA DOS CONDICIONANTES FÍSICOS E SOCIAIS PARA AS OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E ENCHENTES

Neste capítulo serão abordados os referenciais teórico-metodológicos e aspectos conceituais que embasam a temática estudada. Inicialmente serão abordados os eventos climáticos extremos (precipitações intensas) e sua influência nas ocorrências de alagamentos e enchentes. Serão discutidos os aspectos conceituais relacionados à diferenciação e caracterização de alagamentos, enchentes e inundações. Por fim, abordam-se como o uso e ocupação da terra, o processo de impermeabilização e as condições da drenagem urbana influenciam nas ocorrências de alagamentos e enchentes nas bacias hidrográficas.

1.1. EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E A INFLUÊNCIA NAS OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E ENCHENTES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Os eventos climáticos extremos referem-se às precipitações intensas que representam, no ciclo hidrológico, uma importante ligação entre os fenômenos atmosféricos e o escoamento superficial (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). Segundo Tucci (2001) as chuvas mais intensas atingem áreas localizadas e são em geral chuvas do tipo orográficas ou convectivas, enquanto as chuvas frontais atuam sobre grandes áreas gerando inundações maiores.

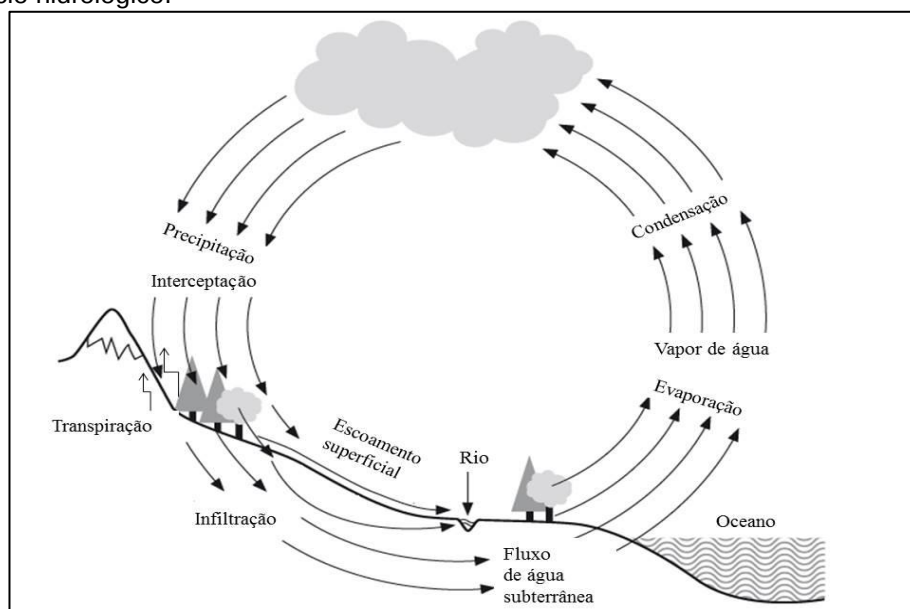
Segundo Hoffmann et al. (2014) os eventos climáticos extremos são resultado de processos naturais, em especial da dinâmica dos sistemas atmosféricos em determinada localidade. Também, estão relacionados à excepcionalidade, isto é, ao desvio dos padrões usualmente conhecidos (COSTA, 2014). Estes desvios considerados excepcionais em relação às precipitações podem causar tanto a escassez de água, gerando as secas, quanto ao excesso hídrico, ocasionando as inundações, enchentes e alagamentos.

O ciclo hidrológico, neste contexto, é de importante entendimento, pois é normalmente estudado com maior interesse para a área terrestre, onde o elemento fundamental de análise torna-se a bacia hidrográfica (SILVEIRA, 2001). Portanto, o ciclo hidrológico (Figura 1) refere-se “ao movimento e a troca de água nos diferentes

estados físicos, que ocorrem na hidrosfera, entre atmosfera, oceanos, calotas de gelo, as águas superficiais e as águas subterrâneas” (ROSA FILHO et al., 2011, p. 44).

Segundo Poletto (2014) o ciclo hidrológico pode ser descrito de acordo com os processos físicos que formam o movimento contínuo da água e que são impulsionados e alimentados pela energia solar, estes processos físicos são: evaporação, condensação, precipitação, interceptação, infiltração, percolação, transpiração, escoamento e armazenamento. É importante ressaltar que neste ciclo não há uma ordem de acontecimentos destes processos físicos, o ponto de partida para o seu estudo pode se iniciar com qualquer um destes componentes.

FIGURA 1 - Ciclo hidrológico.



FONTE: Adaptado de: ROBINSON, M.; WARD, R. Hydrology. Principles and Process. London: IWA Publishing, 2017, p. 21.

As águas dos oceanos, mares, rios e lagos são aquecidos pelo Sol, estas águas evaporam para a atmosfera e posteriormente irão se condensar e precipitar na superfície terrestre e nos oceanos alimentando os lagos, rios e aquíferos. Uma parcela da água é interceptada pela vegetação, e em seguida estas águas irão evaporar novamente alimentando e repetindo o ciclo hidrológico (BORGHETTI et al., 2004).

Neste contexto do ciclo hidrológico, a bacia hidrográfica é unidade espacial essencial para análise, pois “é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, seu exutório” (SILVEIRA, 2001, p. 40). A bacia hidrográfica é considerada um sistema

onde a entrada de água é o volume precipitado e a saída é o volume escoado e as perdas referem-se à infiltração, evapotranspiração e interceptação vegetal (SILVEIRA, 2001).

A *precipitação* é uma das fases do ciclo hidrológico, quando as nuvens chegam ao ponto de saturação e acabam liberando a água em excesso, sob a forma de chuva, neve ou granizo (BORGHETTI et al., 2011). Para que ocorra a precipitação é necessário que as gotas evoluam a partir de núcleos, que podem ser gelo, poeira ou outras partículas. Quando as gotas de água atingem um tamanho suficiente e vencem as forças de sustentação, começam a atingir a superfície terrestre (HOLTZ, 1995).

À medida que as gotas de água ou cristais de gelo, que compõe as nuvens aumentam de tamanho, estes começam a atingir o solo, esta ação será impedida somente se as gotículas de água e partículas de gelo ficarem retidas em correntes de ar ascendentes ou evaporem antes de atingir o solo (POLETO, 2014).

A formação das precipitações está ligada à ascensão das massas de ar, esta ascensão é causada por fatores de convecção térmica, relevo e ação frontal de massas de ar. As precipitações em forma de chuva são classificadas de acordo com o fator responsável pela ascensão das massas de ar (HOLTZ, 1995).

Segundo Ayoade (2011) a precipitação do tipo convectivo está associada às nuvens Cumulus e Cumulonimbus. Esta precipitação é causada pelo movimento vertical da massa de ar ascendente mais quente que o meio ambiente. Este tipo de precipitação tende a ser mais intensa, porém possui pouco tempo de duração. A precipitação ciclônica é causada pelo movimento vertical do ar em grande escala, associado a um sistema de baixa pressão. A precipitação orográfica é causada pela ascensão do ar úmido sobre terreno elevado, este tipo de chuva também ocorre quando o ar úmido encontra regiões elevadas, como as montanhosas.

A magnitude dos efeitos pluviométricos oriundos da entrada de frentes frias depende essencialmente das diferenças de umidade e temperatura entre as duas massas de ar que se encontram. As frentes frias geralmente ocasionam chuvas intensas e de menor duração durante o verão e as chuvas mais longas e de menor intensidade ocorrem no inverno (COELHO NETO, 1998).

Para iniciar os estudos sobre precipitações intensas, estas requerem o entendimento dos conceitos de altura da precipitação, duração, intensidade e frequência, pois estes são elementos básicos utilizados em estudos hidrológicos e

de projetos de drenagem urbana. A altura da precipitação refere-se à quantidade de água precipitada em determinada área; a duração é o tempo decorrido entre o início e o término da chuva; a intensidade é a velocidade da precipitação e a frequência é o tempo de recorrência da precipitação (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

A partir da energia solar, a água que estava em estado líquido pode voltar ao estado gasoso podendo retornar a atmosfera, este fenômeno físico é denominado de *evaporação* (HOLTZ, 1995). Alguns fatores e características das diferentes localidades podem afetar na quantidade de evaporação liberada, dentre estes fatores estão a umidade, pressão atmosférica, temperatura e o vento (POLETO, 2014).

O vapor de água disponível na atmosfera pode sofrer *condensação*, passando do estado gasoso ao estado líquido. Este vapor de água condensa em pequenas partículas suspensas no ar, como o orvalho, geada, neblina ou nuvens (POLETO, 2014).

O processo de *transpiração* ocorre no ciclo hidrológico por meio da liberação pelas plantas do vapor de água para a atmosfera. O processo de liberação conjunta da evaporação da água das plantas e dos solos denomina-se *evapotranspiração* (HOLTZ, 1995).

A precipitação pode ser interceptada, fenômeno denominado de *interceptação*. A água da chuva pode ser interceptada pela vegetação (arbustiva ou arbórea) através de suas copas, galhos e folhas. Segundo Coelho Neto (1998) a água atinge o solo por meio das copas e do escoamento pelos troncos. Ao atingir o solo uma parte da água é armazenada pela serapilheira formada pelos detritos orgânicos oriundos da vegetação, como as folhas, galhos, flores e frutos.

De acordo com Musy e Higy (2011) existem vários fatores que afetam a quantidade de água que pode ser interceptada pelos diferentes tipos de vegetação, dentre estes fatores estão:

- **A morfologia vegetal e a capacidade de armazenamento:** caracteriza-se pela quantidade de água que uma planta pode interceptar através da capacidade de armazenamento (S) e sua velocidade de drenagem (k). A capacidade de armazenamento varia em função do tipo de planta e sua morfologia, principalmente pela disposição das folhas ao longo dos galhos. Uma vegetação de sub-bosque, como as samambaias, possui capacidade de

armazenamento relativamente significativa que podem atingir a mesma ordem de magnitude que a das árvores de folhas largas.

- **Densidade da planta:** é a densidade da cobertura vegetal em uma determinada área e podem-se utilizar vários indicadores de densidade populacional. Dentre eles, há o índice total da área foliar, que representa a proporção da superfície do solo coberta pela vegetação. Um segundo índice é o índice relativo da área foliar, expresso pela razão entre a área total das folhas e a área total do solo coberto por essas folhas.

- **Idade da planta:** esse parâmetro é semelhante ao da densidade da planta, pois a capacidade de armazenamento aumenta rapidamente à medida que a planta amadurece, mas termina quando o crescimento da planta atinge o limite.

Bedient et al. (2013) explicam outro fator considerável de interceptação por árvores frondosas e caducifólias, estas podem interceptar uma quantidade de água considerável no verão mas poucos volumes durante o inverno.

Eslamian (2014) ressalta que o grau de perda de água precipitada pela interceptação do dossel da vegetação arbórea depende de dois grupos de variáveis:

A) Características da vegetação, incluindo forma, tamanho, distribuição, estágio de desenvolvimento, tamanho e forma das folhas e capacidade de armazenamento dependendo da umidade no dossel.

B) Características das chuvas, incluindo intensidade, duração e frequência.

Para saber o volume de chuva que atinge a superfície do solo, é necessário conhecer a extensão e a capacidade do dossel da vegetação, o volume e a magnitude da precipitação incidente. A maior parte da precipitação que incide sobre o dossel da vegetação será armazenada até que a capacidade máxima de armazenamento seja atingida, quando isso ocorrer poderá haver a liberação de água para o solo.

A relação entre precipitação e a interceptação poderá variar ao longo de um único evento de precipitação. A interceptação oriunda de dois episódios de chuva com volume de água semelhante, mas de intensidade e duração diferentes, poderá variar consideravelmente (ESLAMIAN, 2014).

A *infiltração* é o processo de penetração de água no solo (HOLTZ, 1995), é também compreendida como a água que não escoou na superfície, esta água

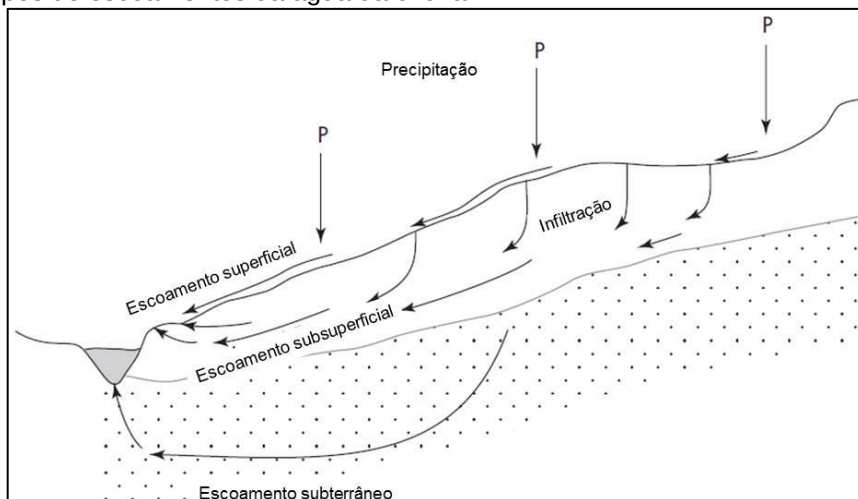
infiltra-se no subsolo por meio das fissuras das rochas e poros dos solos, contribuindo para a hidratação e nutrição das plantas (BORGHETTI et al., 2011).

A capacidade de infiltração de água no solo depende de algumas variáveis, como ressalta Coelho Neto (1998):

- Características das chuvas: principalmente a intensidade das chuvas, pois as chuvas mais intensas causam maiores impactos sobre o solo exposto e as chuvas prolongadas podem conduzir os solos à saturação;
- Condição de cobertura vegetal dos solos: a vegetação tende a propiciar o aumento da capacidade de infiltração, devido, principalmente pela presença da serapilheira;
- Condições especiais dos solos: a redução da infiltração é observada pela compactação pelo impacto da chuva e pela selagem por partículas finas deslocadas pelo espalhamento das gotas de chuva.
- Condições de porosidade, textura, profundidade e umidade antecedente: estas variáveis estão essencialmente relacionadas à quantidade de água que o solo poderá armazenar antes de atingir o ponto de saturação:
 - Solos profundos e bem drenados, com textura grosseira e com quantidades suficientes de matéria orgânica, em geral, apresentam alta taxa de infiltração.
 - Os solos rasos e mais argilosos tendem a serem menos permeáveis e apresentam reduzido volume de infiltração.
 - A capacidade de infiltração varia de acordo com a porosidade do solo, com o tamanho das partículas e o estado de fissuração das rochas (HOLTZ, 1995). Isto é, quanto maior a porosidade, o tamanho das partículas ou o estado de fissuração das rochas maior é a capacidade de infiltração (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).
 - A umidade antecedente influencia no volume de água infiltrada na medida em que reduz a ação capilar e limita o volume de água que poderá ser armazenado. Ou seja, se no início da precipitação o solo possuir certa umidade, a capacidade de infiltração tende a ser menor do que se o solo estivesse seco (HOLTZ, 1995).
- Atividade biogênica na superfície: a capacidade de infiltração e percolação da água é facilitada pela presença de fissuras e macroporos produzidos por animais e também pelos enraizamentos das plantas.

O escoamento pode ser dividido em superficial, subsuperficial e subterrâneo (Figura 2). O escoamento superficial é definido como a lâmina de água que percorre sobre a superfície terrestre. A lâmina de escoamento superficial produzida durante a precipitação “é uma função da altura total da lâmina precipitada e de perdas que ocorrem, principalmente, devido à infiltração, à interceptação vegetal e à retenção em depressões do terreno” (SOARES et al., 2017).

FIGURA 2 - Tipos de escoamentos da água da chuva.



FONTE: DAVIE, T. Fundamentals of Hydrology. 2. ed. London: Taylor and Francis Group, 2008.

O escoamento subsuperficial é aquele no qual o fluxo percorre juntamente as raízes da cobertura vegetal, ocorre na subsuperfície rasa, predominantemente, na zona não saturada e o subterrâneo é o fluxo de água que contribui para a manutenção das águas subterrâneas (COELHO NETO, 1998; DAVIE, 2008). A importância relativa de cada um depende da captação do fluxo durante o estudo e das características das chuvas durante uma tempestade (DAVIE, 2008).

O escoamento também pode ser compreendido como “a combinação do fluxo de pequena profundidade na superfície com o escoamento em pequenos canais que constituem a drenagem da bacia hidrográfica” (TUCCI, 2001, p. 409). O escoamento superficial ocorre quando a intensidade da precipitação excede a capacidade de infiltração, percolação e armazenamento de água no solo, este processo pode ocorrer devido à pavimentação e impermeabilização do solo. Este tipo de escoamento pode ser observado na bacia do arroio da Ronda, nas áreas com a presença de Oganossolos e Gleissolos.

O escoamento depende de uma série de fatores, como o tipo de solo e suas características físicas, ocupação da bacia e umidade antecedente dos solos e intensidade da chuva (PORTO, 1995). Segundo Poletto (2014) devido ao gradiente

topográfico o escoamento superficial é drenado para as cotas mais baixas dos terrenos em direção aos talwegues e corpos de água.

Os processos de geração do escoamento superficial podem ser explicados por duas teorias principais: processo Hortoniano (1933) e pelo Mecanismo de Dunne e Black (1970a; 1970b). Horton propõe o modelo de infiltração-escoamento, este modelo descreve quantitativamente os mecanismos de geração de escoamento superficial que é, por sua vez, gerado pela intensidade da precipitação e a perda da capacidade de infiltração de água no solo, isso é o escoamento superficial como excedente da infiltração.

A infiltração divide a precipitação em duas partes, que posteriormente prosseguem por diferentes caminhos através do ciclo hidrológico. Uma parte vai alimentar os rios como escoamento superficial durante os eventos de precipitação, a outra vai inicialmente para o solo e outra irá alimentar os rios como escoamento subterrâneo ou retorna para a atmosfera pelos processos de evaporação (HORTON, 1933, p. 445; tradução de SIEFERT; SANTOS, 2012, p. 230).

A teoria de Horton desde a década de 1930 é aceita para descrever o escoamento superficial gerado em perfis de solos alterados pelas ações antrópicas (solos pavimentados, cultivos agrícolas), solos compactados por pisoteio de animais, para o estudo em regiões áridas e semiáridas (CHOW et al., 1994; SIEFERT; SANTOS, 2012) e para regiões onde a densidade de vegetação arbórea é baixa, propiciando que as taxas de infiltração sejam inferiores a intensidade de chuva (HORNBERGER et al., 1998; SIEFERT; SANTOS, 2012). Esta situação é observada, sobretudo nas cabeceiras do arroio da Ronda, onde a área urbanizada é o uso da terra mais expressivo, com consequente diminuição das áreas de mata nativa desde 1980.

Hewlett e Hibbert (1967) propuseram o conceito de Área Variável de Afluência (AVA). Nestas áreas a geração do escoamento superficial direto está relacionada com áreas que apresentam maior suscetibilidade a saturação durante eventos de precipitação, a expansão durante a precipitação e diminuição após o término desta. Segundo estes autores as áreas da AVA são as zonas saturadas (áreas úmidas) de baixa declividade e que margeiam os cursos de água.

Dunne e Black (1970a; 1970b) basearam sua teoria em vários estudos realizados nas décadas de 1960, principalmente nos estudos da AVA sobre o processo de geração de escoamento superficial. Estes autores contribuíram de

forma significativa nos avanços da compreensão dos mecanismos de geração de escoamento, ou seja, a geração de escoamento por saturação.

Os autores concluíram que o escoamento superficial rápido via áreas saturadas é mantido pelo escoamento subsuperficial oriundo da vertente a montante. A teoria de Dunne e Black (1970a; 1970b) permite descrever “a mecânica dos processos resultantes da interação da água entre a topografia, solos e zona ripária numa escala a partir da vertente” (SEIFERT; SANTOS, 2012, p. 236).

Neste trabalho é utilizado o conceito de escoamento superficial de Horton (1933), pois o uso e ocupação da terra é fator preponderante para a impermeabilização do solo, que é por sua vez, consequência direta do processo de urbanização, o que gera impacto significativo sobre o aumento do escoamento das águas pluviais e diminuição da infiltração na área da bacia estudada.

Para se analisar os eventos extremos climáticos também é necessário compreender os sistemas atmosféricos atuantes no território brasileiro. No Brasil, em seu vasto território, existe uma variedade de tipos de tempo e consequentemente diferentes tipos de climas, refletindo na origem e influência de diferentes paisagens ao longo do território brasileiro.

Os tipos climáticos do país são influenciados por um conjunto de Centros de Ação e de Massas de Ar, são massas de ar quentes, frias, úmidas e secas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Os tipos de tempo são influenciados por cinco principais massas de ar: duas anticlonais que são a Massa Polar Atlântica e a Massa Tropical Atlântica e três ciclônicas, a Massa Tropical Continental, a Equatorial Continental e a Massa Equatorial Atlântica (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; NOTAS DE AULA, 2018).

Segundo Melo (2013, p. 44) “a ocorrência de eventos extremos está intrinsecamente ligada a sistemas atmosféricos”. Tominaga (2009) descreve que as ocorrências de inundações, enchentes e alagamentos estão “normalmente associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, nos períodos chuvosos que correspondem ao verão na região sul e sudeste e ao inverno na região norte” (TOMINAGA, 2009, p. 18).

Segundo Tominaga (2009), o Brasil encontra-se entre os países do mundo mais atingidos por eventos extremos de origem hidrológica, tendo registrado 94 desastres cadastrados no período de 1960 a 2008, com 5.720 mortes e mais de 15 milhões de pessoas desabrigadas.

Segundo Gonçalves e Barros (2016) no estado do Paraná houve um monitoramento detalhado sendo registradas 3.262 ocorrências de desastres em um período de 10 anos (2003-2013), atingindo 361 municípios e afetando 7.477.662 de pessoas. O anuário da Defesa Civil do estado do Paraná do ano de 2018 estabelece que entre 2011 a 2017 foram registradas 1.306 ocorrências relacionadas a eventos de precipitação intensa, dentre estes eventos estão, 644 enxurradas, 312 alagamentos, 278 chuvas intensas e 72 inundações (SISDC, 2018).

1.2. ALAGAMENTOS, ENCHENTES E INUNDAÇÕES: ASPECTOS CONCEITUAIS

As inundações e enchentes são fenômenos naturais, ou seja, ocorrem independentemente da ação humana. Em algumas regiões, em tempos passados, como no Egito Antigo, as inundações e enchentes eram consideradas benéficas, pois auxiliavam na fertilidade do solo, e conseqüentemente na agricultura e subsistência das populações ribeirinhas. Assim, Wollmann (2014) afirma que desde o início das civilizações as inundações e enchentes são os acontecimentos naturais que mais influenciaram e ainda influenciam no cotidiano das pessoas, seja essa influência positiva (prosperidade da agricultura) ou negativa (perdas materiais e humanas).

Porém, com o surgimento das cidades houve o crescimento urbano que provocou alterações no meio, principalmente no que tange a retirada da cobertura vegetal, que entre algumas das conseqüências, leva a modificações na dinâmica dos processos hidrológicos e a formação de outro fenômeno, os alagamentos, oriundos quase que exclusivamente pela falta de planejamento urbano e drenagem urbana adequados.

A urbanização contribui para impermeabilização do solo, pela presença de vias asfaltadas, edificações, calçadas e a implicação disso é uma menor infiltração de água no solo, aumentando o escoamento superficial (TUCCI, 2003) e com o excesso de chuvas intensas e torrenciais, em um curto período, poderá ocasionar episódios de alagamentos e enchentes.

É importante a diferenciação entre os conceitos de inundação, enchentes e alagamentos, pois estes são frequentemente confundidos. Segundo Carvalho et al.

(2007) e Ministério das cidades/IPT (2007), a *inundação* representa o transbordamento das águas de um curso de água, atingindo a planície de inundação; as *enchentes* ou cheias são as elevações temporárias do nível de água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar e o *alagamento* é um acúmulo momentâneo de água em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem urbana, em decorrência de precipitações intensas (Figura 3). A *enxurrada* é o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.

FIGURA 3 - Perfil esquemático diferenciando inundação, enchente e alagamento.



FONTE: Adaptado de: Defesa Civil de São Bernardo do Campo (SP), 2011. Disponível em <<https://www.saobernardo.sp.gov.br/web/defesa-civil>> Acesso em 20 de setembro de 2019.

As ocorrências de inundações, enchentes, alagamentos e enxurradas, em uma bacia hidrográfica possuem origem natural, porém esses fenômenos podem ocorrer sobre influência de elementos e condições criados pela sociedade. “As inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d’água, frequentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração” (AMARAL; RIBEIRO, 2009, p. 41).

Os fatores naturais que influenciam nas ocorrências de enchentes e inundações podem decorrer das características topográficas como as formas de relevo e grau de declividade e da natureza da drenagem a montante das zonas inundáveis (PINHEIRO, 2007). As interferências humanas que potencializam as ocorrências destes fenômenos estão relacionadas à urbanização com a ocupação de áreas de planície de inundação, impermeabilização do solo e aos obstáculos que se criam para o escoamento da água (PINHEIRO, 2007).

Neste contexto, Amaral e Ribeiro (2009) explicam que a probabilidade das ocorrências de inundações, enchentes e alagamentos também está relacionada com a combinação de vários condicionantes como: formas do relevo; características da

rede de drenagem da bacia hidrográfica; intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; características físicas do solo e o teor de umidade; presença ou ausência da cobertura vegetal. Além destes, o uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água; lançamento irregular de resíduos sólidos nas proximidades e nos cursos d'água; alterações das características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água, como a canalização e a retificação; e a erosão dos solos e assoreamento dos cursos d'água.

Tucci e Bertoni (2003) listam alguns impactos das enchentes e inundações para a sociedade: ocorre o aumento em até sete vezes das vazões máximas dos rios, devido ao aumento da capacidade de escoamento por meio dos condutos e canais e da impermeabilização do solo; deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, em decorrência principalmente de ligações clandestinas de esgoto doméstico. A forma desorganizada da infraestrutura urbana também provoca transtornos, como por exemplo, a construção de pontes e taludes de estradas que impedem o escoamento da água e a redução de seção do escoamento por aterros de pontes e por construções em geral.

Os alagamentos, enchentes e inundações quando atingem grande magnitude e ocasionam danos para os seres humanos, sejam estes perdas de vidas humanas e/ou bens materiais, são considerados desastres naturais (VESTENA, 2017). Segundo Scheurren et al. (2008) é considerado um desastre natural quando um destes critérios são atingidos: dez ou mais mortos; cem ou mais pessoas afetadas; declaração de estado de emergência ou calamidade pública pelo município, estado ou país e/ou pedido de auxílio internacional.

Ainda segundo Vestena (2017), os desastres naturais estão diretamente relacionados às características físicas do meio ambiente, das bacias hidrográficas e as modificações antrópicas, principalmente em relação ao uso e ocupação da terra. Assim, “a ocupação de áreas de perigo a desastre natural (áreas inundáveis e declivosas) e ao tipo e forma de ocupação (forma e resistência das construções)” (VESTENA, 2017, p. 15), potencializam a ocorrência de desastres ou intensificam os danos.

A Geografia, como ciência pode contribuir para o gerenciamento dos desastres naturais, principalmente auxiliando na prevenção e mitigação destes, subsidiando medidas de planejamento do espaço urbano, ordenamento e zoneamento ambiental (VESTENA, 2017).

1.3. DRENAGEM URBANA E A RELAÇÃO COM ALAGAMENTOS E ENCHENTES

Segundo Araújo et al. (2017) a gestão das águas pluviais possui uma função fundamental nas áreas urbanas, este processo vem se tornando mais complexo com o passar dos anos, pois envolve “não somente aspectos hidrológicos e hidráulicos, como também questões ambientais, sociais e sanitárias, além dos aspectos técnicos e de custos usualmente considerados” (ARAÚJO et al., 2017, p. 1).

Para Burns et al. (2012), Peplau e Neves (2014) o controle da drenagem urbana no Brasil passou por três fases: a primeira priorizou a eficiência da drenagem, com sistemas capazes de conduzir o escoamento superficial aos corpos de água receptores de forma eficiente. A segunda fase esteve relacionada à redução das fontes poluidoras na qual se enquadram as técnicas ditas de baixo impacto. A terceira fase foi baseada no gerenciamento do regime de escoamento, procurando “atingir metas além do simples controle da poluição ou do pico de vazão, propondo-se manter a integridade do ecossistema das águas receptoras, avaliando as vazões mínimas” (PEPLAU; NEVES, 2014, p. 97).

Segundo Porto et al. (2001), a drenagem urbana é compreendida como um conjunto e medidas que têm por objetivos: minimizar os riscos que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados pelas enchentes e alagamentos e também possibilitar o desenvolvimento urbano de maneira sustentável.

Tucci (2003) define a drenagem urbana em três sistemas, sendo, portanto, na fonte, microdrenagem e macrodrenagem, o mesmo autor define estas como:

A drenagem *na fonte* é definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamentos, parques e passeios.

A *microdrenagem* é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado.

A *macrodrenagem* envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. A macrodrenagem envolve áreas de pelo menos 2 km² ou 200 ha. Estes valores não devem ser tomados como absolutos porque a malha urbana pode possuir as mais diferentes configurações. Este tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores as da microdrenagem com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais (TUCCI, 2003, p. 50).

Definidos os sistemas de drenagem tem-se que destacar que a microdrenagem e a macrodrenagem são os principais sistemas. Na macrodrenagem há os escoamentos em fundo de vale, que geralmente são bem definidos, mesmo

que não correspondam a um curso d'água perene. A microdrenagem também se refere a locais onde o escoamento natural não é bem definido, sendo então delineado pelo uso e ocupação da terra. Em uma área urbana, o escoamento das águas é definido quase que totalmente pela disposição e/ou traçado das ruas (PORTO et al., 2001).

Segundo Porto et al. (2001) na microdrenagem urbana os elementos básicos de captação do sistema pluvial são:

- Galeria: comporta a canalização pública que visa conduzir as águas pluviais provenientes das bocas de lobo e das ligações particulares.
- Poço de visita: sistema que tem por objetivo realizar a mudança de direção, de declividade e de diâmetro e limpeza das canalizações.
- Trecho: porções de galerias situadas entre dois poços de visita.
- Bocas de lobo: captam as águas pluviais nas ruas.
- Tubos de ligação: são canalizações que conduzem as águas pluviais que são captadas pelas bocas de lobo levando-as para as galerias e poços de visita.
- Meio fio: fileiras de pedra ou de concreto colocadas paralelamente entre a calçada e a rua.
- Sarjeta: faixas das ruas, paralelas e vizinhas ao meio fio. É responsável por receber e escoar as águas até as bocas de lobo.
- Sarjetões: são calhas localizadas nos cruzamentos das ruas, são formadas pela própria pavimentação destas vias e orientam o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.
- Estação de bombeamento: conjunto de obras e equipamentos que retiram a água de um canal de drenagem, quando não há condições de escoamento por gravidade.

Mascaró e Yoshisnaga (2013) complementam que o sistema de drenagem urbana de águas pluviais (microdrenagem) é constituído de três partes:

- Ruas pavimentadas (incluindo guias e sarjetas);
- Redes de tubulações e seus sistemas de captação;
- Áreas alagáveis (áreas planas e sem sistema de drenagem de águas pluviais).

A macrodrenagem de uma área urbana também corresponde à rede de drenagem natural, preexistente a ocupação humana, constituída pelos córregos, riachos e rios localizados nos talwegues e vales (MARTINS, 1995). Corresponde também às obras de retificação e ampliações das seções de cursos d'água, construção de canais artificiais e galerias de grande dimensão, construção de

estruturas auxiliares para o controle e dissipação de energia, amortecimento de pico de vazão, proteção contra assoreamento e erosão e construção de travessias e estações de bombeamento (MARTINS, 1995).

A drenagem urbana possui uma relação imbricada com a urbanização, pois a drenagem foi criada com o objetivo de minimizar os riscos que as populações estão sujeitas devido às chuvas intensas, e assim diminuir os prejuízos causados pelas inundações, enchentes e alagamentos. Entretanto, a urbanização vem aumentando, com a ocupação de áreas de risco e também ocorrendo o processo de impermeabilização do solo. Segundo Canholi (2005) o processo de urbanização se tornou caótico e “o uso inadequado do solo provocaram redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios, que por sua vez demandarão outros locais para ocupar” (CANHOLI, 2005, p. 21).

Travassos (2010) aponta que a raiz dos problemas de drenagem urbana não pode ser dissociada do crescimento urbano, tanto em relação a áreas impermeáveis, quanto ao adensamento populacional, portanto este aumento da população urbana consequentemente demanda um aumento dos sistemas de saneamento, incluindo uma drenagem urbana eficiente.

Segundo Silva (2016) a drenagem urbana comporta um conjunto de sistemas de saneamento que devem funcionar de maneira integrada. “Este sistema é composto por sistemas de: tratamento e abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo e manejo e drenagem de águas pluviais” (SILVA, 2016, p. 26). Porém, o sistema de drenagem urbano tem se mostrado insuficiente, as ocorrências de alagamentos e enchentes têm confirmado essa deficiência e a má conservação nas estruturas de drenagem.

Neste contexto, Porto et al. (2001, p. 806) ressaltam que “as consequências da urbanização que interferem diretamente com a drenagem urbana são as alterações do escoamento superficial direto”. As alterações hidrológicas podem ser drásticas, pois há um crescimento das vazões máximas, em conjunto com a área urbanizada da bacia.

Segundo Souza et al. (2012) os sistemas higienistas de drenagem urbana, tais como o tratamento e abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo e manejo e drenagem de águas pluviais, utilizados na maioria das cidades brasileiras, não são suficientes para a solução dos alagamentos e enchentes recorrentes no espaço urbano, isto acarreta consequências para as populações.

Ocorre desta forma, a transferência do problema para áreas a jusante, implicando em novas obras de ampliação do sistema com custos adicionais crescentes. Há também a falsa sensação de segurança pela população em relação às ocorrências de enchentes e alagamentos e a limitação de outros usos da água em meio urbano (SOUZA et al., 2012).

Em relação à microdrenagem, esta torna-se insuficiente e precária devido à ausência ou localização incorreta de bocas de lobo, implantação incorreta de tubulações para vazão de escoamento superficial e excesso de lançamentos de águas pluviais concentrados em um único ponto (SEIBT et al., 2011; PORTO et al., 2001), além do lançamento de resíduos sólidos no sistema de drenagem que propicia a sobrecarga da rede de microdrenagem, auxiliando na ocorrência de enchentes e alagamentos.

Segundo Grecco et al. (2012) um adequado sistema de drenagem urbana deve proporcionar benefícios para toda a população, dentre estes destacam-se o acelerado “escoamento das águas superficiais, a redução de gastos com manutenção de vias públicas, a valorização de propriedades existentes na área, além do aumento de conforto e segurança para a população” (GRECCO et al., 2012, p.197).

Para Canholi (2005) deve haver um planejamento da drenagem urbana, que deve ser entendida como parte de um abrangente processo de planejamento urbano, juntamente com os demais planos de melhoramento do espaço urbano, tais como os de saneamento básico (água e esgoto), manutenção dos sistemas de drenagem urbana, uso do solo e transportes. O mesmo autor ressalta que a falta de uma visão sistêmica no planejamento da macrodrenagem tornou-se uma das grandes causas pelo estado desordenado no controle das enchentes nas áreas urbanas brasileiras (CANHOLI, 2005).

Entretanto, Canholi (2005) também aponta que um planejamento adequado da drenagem urbana é composto por medidas de controle de enchentes e alagamentos, estas medidas são classificadas como estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais são as obras de engenharia que visam, por exemplo, a aceleração do escoamento, incluindo a canalização de canais fluviais, retardamento de fluxo, bacias de contenção, medidas de controle de erosão dos solos e recomposição da vegetação nativa dos locais. Assim como, a ampliação do

sistema de microdrenagem por meio da adequação do número de bueiro, galerias pluviais e bocas de lobos conforme complementa Benini e Rosin (2018).

As medidas não estruturais comportam as ações que procuram disciplinar a ocupação territorial e o comportamento de consumo das pessoas e atividades econômicas. Dentre as medidas não estruturais estão a regulamentação do uso e ocupação do solo, educação ambiental, seguro enchente e sistema de alerta de enchentes (CANHOLI, 2005).

Portanto, de acordo com Butler et al. (2018), a drenagem urbana está inserida em um contexto de desafios sociais e ambientais modernos, dentre estes estão a necessidade de melhorias técnicas, econômicas e socialmente aceitáveis nos sistemas existentes, a necessidade de avaliar o impacto desses sistemas e a necessidade de promover soluções sustentáveis e resilientes.

1.4. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E O PROCESSO DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS

Segundo Lima e Fontes (2009) a bacia hidrográfica é uma unidade básica de planejamento e gestão, sobretudo quando trata de aspectos hidrológicos. Esta unidade ambiental permite realizar análises integradas dos seus diferentes elementos, sejam eles físicos, bióticos ou socioeconômicos. Desta forma, a bacia hidrográfica “representa uma boa e relevante demarcação na paisagem para o planejamento do uso do solo” (CARVALHO, 2009, p. 202).

Estudos utilizando a bacia hidrográfica como unidade de análise colocam em evidência os conflitos de ordem ambiental provocados pelas ações antrópicas (CARVALHO, 2009), auxiliando, desta forma, ações sustentáveis para reduzir os impactos ocasionados pelas diversas atividades humanas (LIMA; FONTES, 2009) e que potencializam as ocorrências de inundações, enchentes e alagamentos.

A bacia hidrográfica aqui estudada é um espaço urbano modificado pelos seres humanos por meio das diversas atividades, ou seja, a ação humana modelando-o. O uso e ocupação da terra encaixam-se nesta perspectiva, são ações humanas que modificam a superfície da terra, pois estes se configuram em “uma

série de operações desenvolvidas pelos seres humanos, com a intenção de obter produtos e benefícios por meio do uso dos recursos da terra” (BIE et al., 1996, p.13).

Portanto, “o conhecimento da distribuição espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra é fundamental para orientar a utilização racional do espaço” (IBGE, 2013, p. 38). Desta forma, o espaço geográfico é uma das formas para se interpretar a realidade. Esta organização espacial é reflexo e condição do que somos enquanto seres humanos, pois é onde ocorre o rebatimento das relações sociais e condição para a reprodução das mesmas relações.

Segundo IBGE (2013) o levantamento da cobertura e o uso da terra comporta uma importante ferramenta para planejamento e orientação à tomada de decisão contribuindo assim para a identificação de alternativas promotoras da sustentabilidade para o desenvolvimento. “Ao retratar as formas e a dinâmica de ocupação da terra, estes estudos também representam instrumento valioso para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental” (IBGE, 2013, p. 37).

A identificação do uso da terra também oferece contribuições para as análises e avaliações dos impactos ambientais, como os desmatamentos, perda da biodiversidade, mudanças climáticas, disseminação de doenças, os inúmeros impactos causados pelas altas taxas de urbanização e pelas transformações rurais (IBGE, 2013).

Neste contexto, a urbanização é uma atividade humana que acarretou modificações no espaço. Segundo Ferraz et al. (2007) a partir do início século XX ocorreu a intensificação da ocupação urbana no Brasil, esta ocupação foi caracterizada pelo pouco planejamento do uso da terra, o que ocasionou em uma ocupação desordenada no espaço urbano.

Como consequência do aumento da urbanização desordenada, houve o comprometimento e degradação do meio ambiente, com o desmatamento, a poluição de nascentes, e também a degradação da vida humana, com a ocupação de áreas impróprias para a moradia, sejam estas áreas sujeitas a movimentos de massa e soterramentos ou áreas de inundação, como as planícies de inundação (TUCCI; BERTONI, 2003).

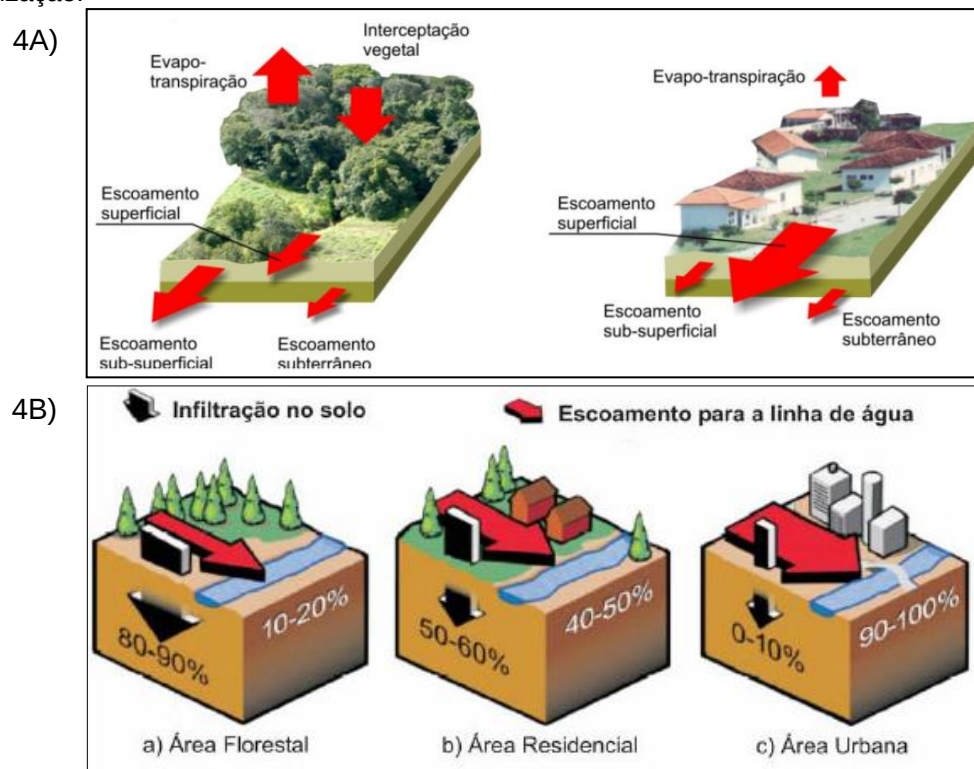
Segundo Belward e Skoien (2015) são importantes os estudos e discussões sobre as alterações do uso e ocupação da terra, pois estas ações ocasionam inúmeras mudanças e impactos nas bacias hidrográficas. Desta forma, Lollo et al.

(2019, p. 17) apresentam que “condições não adequadas às condições naturais de uso e cobertura da terra, como as associadas à falta de conservação e proteção dos recursos naturais desencadeiam inúmeros processos de degradação ambiental”.

Para Benini e Rosin (2018) a cidade apresenta uma dinâmica própria, e à medida que o espaço urbano se modifica há um impacto direto em todo o contexto espacial, que acaba criando uma nova dinâmica nas inter-relações urbanas, que neste contexto, referem-se ao surgimento de áreas propensas às ocorrências de alagamentos e áreas de risco às enchentes e inundações.

Nas figuras 4A e 4B é possível perceber que com a retirada da vegetação e a impermeabilização do solo há um aumento do escoamento das águas das chuvas. Em área de floresta a infiltração da água no solo pode chegar a 90% e em um cenário totalmente oposto, em uma área densamente urbanizada, a infiltração é mínima chegando a apenas 10%, como mostra a figura 4B.

FIGURAS 4A e 4B - Alterações do meio ambiente e alterações hidrológicas advindas do processo de urbanização.



FONTE: (4A) SCHUELER, T. R. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban. Washington: Washington Council of Governments, 1987.

(4B) MARSH, W. Landscape planning: environmental applications. New York: John Wiley & Sons, 1983.

É importante ressaltar a absorção de água no solo, pois segundo Mascaró e Yoshinaga (2013) o solo possui uma capacidade de absorção surpreendente, em

alguns casos, quando o solo é arenoso, absorve quase 100% da água da chuva. Com a presença de argila no solo, a capacidade de infiltração pode decair, porém não significa que haverá pouca infiltração, visto que a infiltração da água também está relacionada com os condicionantes de uso e ocupação da terra.

Segundo Moraes (2011, p. 19) a capacidade de infiltração de água no solo depende de algumas “características intrínsecas dos constituintes do solo, como a estrutura do perfil, permeabilidade, porosidade e condições do substrato rochoso” e o grau de umidade do solo também deve ser considerado, pois tende a influenciar na capacidade e na velocidade de infiltração da água.

O escoamento superficial é mais rápido sobre superfícies impermeabilizadas do que sobre superfícies naturais e ao longo dos cursos de água. Isso significa que o fluxo chegará e desaparecerá mais rapidamente sobre as superfícies impermeabilizadas, portanto, o pico de fluxo será maior. Além disso, uma infiltração reduzida significa a redução da recarga das reservas de água subterrânea (BUTLER et al., 2018).

Mascaró e Yoshinaga (2013) ressaltam que “quando uma área se urbaniza, parte se ocupa com pavimentação e parte com edificações, isso faz com que parte do solo fique impermeabilizado e a capacidade de infiltração diminua” (MASCARÓ; YOSHINAGA, 2013, p. 94). Os mesmos autores relacionam o tipo de urbanização com a capacidade máxima de infiltração de água no solo (Quadro 1).

QUADRO 1 - Taxa e infiltração de água no solo de acordo com o tipo de urbanização.

Tipo de urbanização	Taxa de infiltração de água no solo
Edificação muito densa, áreas urbanas centrais com pátios e calçadas.	2% a 10%
Edificação medianamente densa, normalmente partes adjacentes ao centro, com jardins privados e ruas arborizadas.	10% a 30%
Edificação pouco densa, com recuos de jardim, jardins interiores, ruas pavimentadas, e calçadas parcialmente gramadas.	20% a 50%
Edificação de baixa densidade, tipo cidade jardim, grandes áreas gramadas, calçadas predominantemente gramadas, ruas pavimentadas.	40% a 70%
Subúrbio com edificação esparsa, lotes baldios, ruas sem pavimentação, praças com arborização, pouco impermeabilizada.	50% a 80%
Parques campos de esportes, reservas florestais urbanas.	70 a 98%

FONTE: MASCARÓ, J. L.; YOSHINAGA, M. Infraestrutura urbana. 2ed. Porto Alegre: Masquatro, 2013.

Porto et al. (2001, p. 807) também ressaltam que a urbanização acarreta várias consequências para o meio ambiente e para os seres vivos inseridos neste, potencializando as ocorrências de inundações, enchentes e alagamentos. O quadro 2 apresenta algumas destas consequências incluindo as causas e efeitos da urbanização sobre o meio ambiente.

Quadro 2 - Causas e efeitos da urbanização na ocorrência de inundações, enchentes e alagamentos.

Causas	Efeitos
Impermeabilização do solo Redes de drenagem Resíduos sólidos Redes de esgoto deficientes	Maiores picos e vazões Maiores picos a jusante Degradação da qualidade das águas Doenças de veiculação hídrica Inundações e alagamentos
Desmatamento	Aumento da erosão Assoreamento em canais e galerias
Ocupação de várzeas	Maiores prejuízos Maiores custos de utilidades públicas

FONTE: PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C.E.M.; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH, 2001, p. 805-847.

Em consonância com Porto et al. (2001), Tucci (2012) ressaltam que a urbanização tende a impermeabilizar o solo e conseqüentemente acaba por produzir um maior escoamento superficial e acelerando o escoamento por condutos e canais (TUCCI, 2012), este processo de impermeabilização produz uma série de modificações:

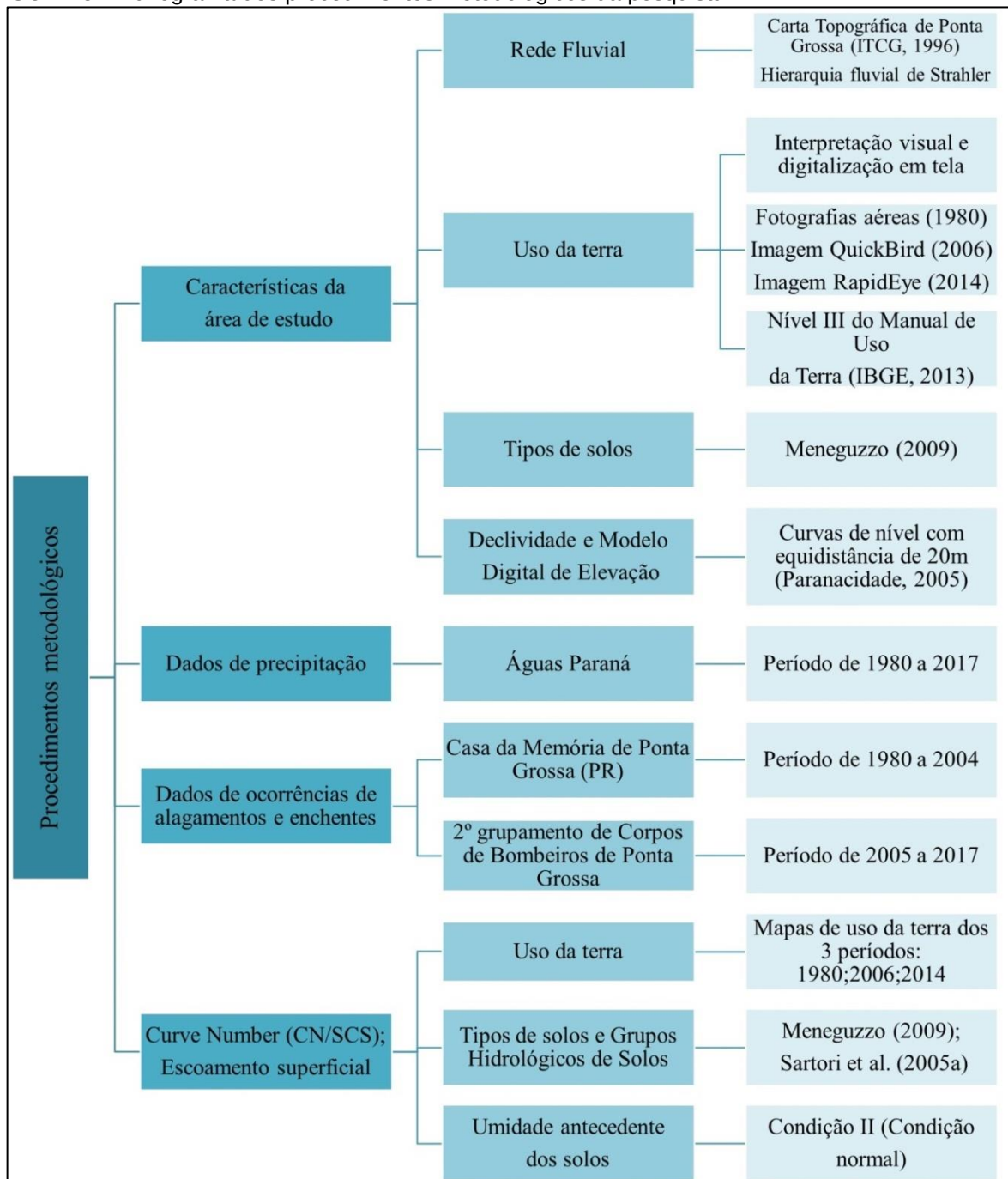
- Aumento da vazão máxima potencializando as ocorrências de inundações;
- Acúmulo de resíduos sólidos que quando descartados incorretamente escoam para o sistema de drenagem e acabam entupindo e reduzem a capacidade de escoamento nos condutos e canais;
- Deterioração da qualidade da água pluvial e fluvial devido à lavagem das superfícies urbanas e contaminação por pelo descarte de resíduos sólidos e esgoto.

Portanto, a sinergia entre a significativa impermeabilização do solo, causada pela presença de vias asfaltadas, edificações, calçadas e o comportamento hídrico causado pelos altos índices de precipitação, podem causar o aumento do escoamento superficial e subsuperficial da água, aumentando as vazões dos rios e de seus afluentes potencializando erosões e principalmente enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas (FERRAZ et al., 2007). Estes processos são resultantes das modificações ambientais e alterações do uso da terra geradas pela sociedade em bacias hidrográficas (FREITAS, 2018).

CAPÍTULO 2 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados no decorrer da pesquisa. Para melhor entendimento da sequência metodológica adotada foi organizado um fluxograma que exemplifica os principais procedimentos metodológicos utilizados, demonstrado na figura 5.

FIGURA 5 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.



FONTE: A autora.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A partir da década de 1960, ocorreu a aceleração da urbanização de Ponta Grossa e da área onde se situa o arroio da Ronda, quando muitos capões de mata nativa próxima as nascentes foram suprimidos, dando lugar a edificações (MENEGUZZO, 2009). No decorrer das décadas de 1950 e 1960 algumas áreas próximas às margens do arroio da Ronda começaram a ser ocupadas, locais estes já suscetíveis a inundações e alagamentos (MENEGUZZO, 2009).

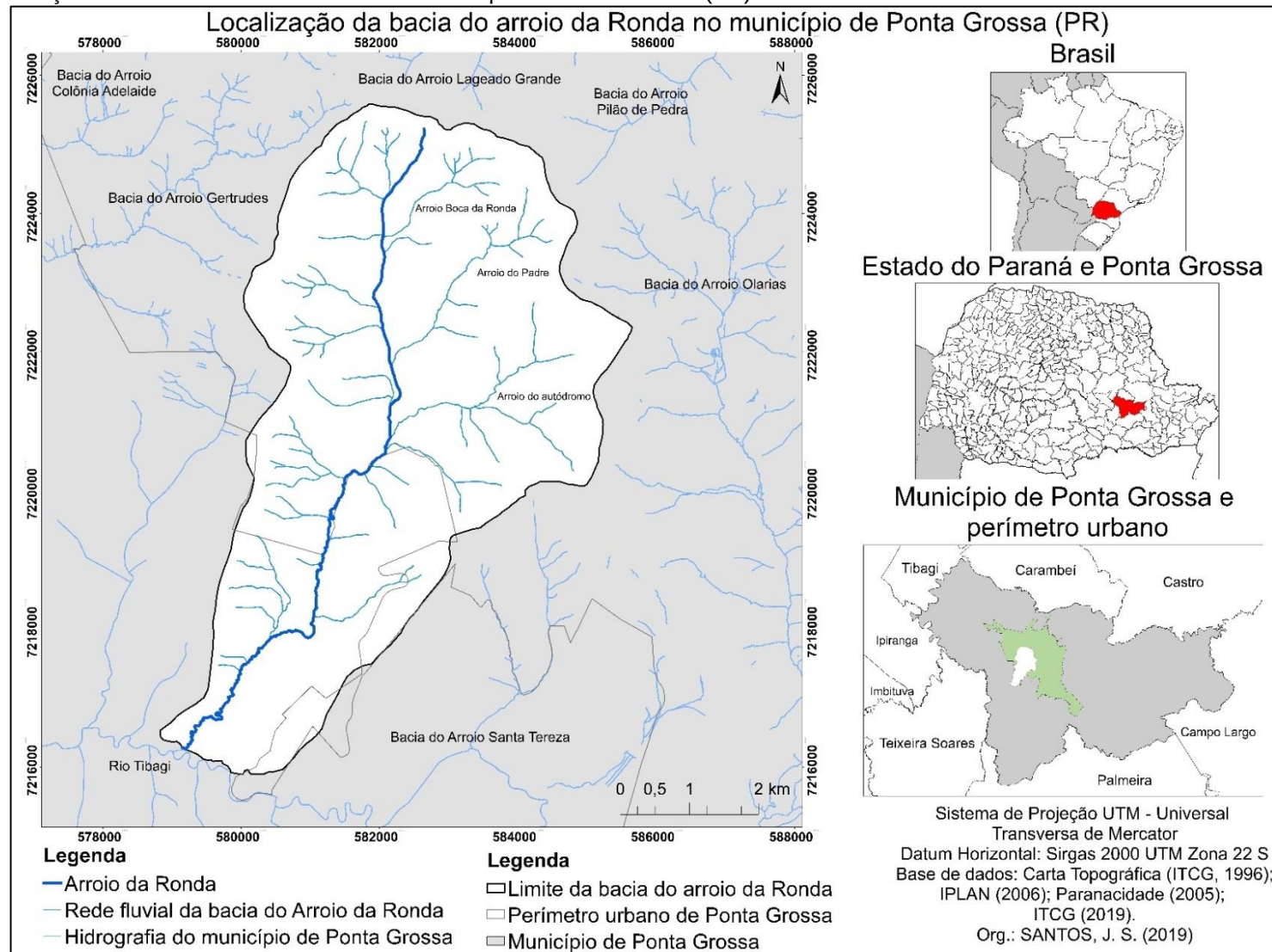
Medeiros e Melo (2001, p. 124) afirmam que em Ponta Grossa houve uma “ocupação desordenada em encostas íngremes (acima de 30%), nas margens de talwegues entalhados e nos terrenos sobre os terraços aluviais”, oriundos da falta de um planejamento adequado que considerasse as particularidades do meio físico do município.

Ao longo dos anos no município de Ponta Grossa e na bacia do arroio da Ronda vem se registrando episódios de alagamentos e enchentes. Na área de estudo, Meneguzzo (2009) havia dado visibilidade para alguns fenômenos, entre estes os alagamentos e enxurradas, embora o objetivo principal fosse avaliar as transformações do uso da terra e sua influência nos processos geomorfológicos na área da bacia.

Outro estudo, sobre inundações e alagamentos na bacia do arroio da Ronda, foi desenvolvido por Diedrichs et al. (2009), com o objetivo de avaliar o comportamento hidrológico sob os efeitos da urbanização e sua relação com as ocorrências destes fenômenos. Segundo Diedrichs et al. (2009) foi analisado “as características fisiográficas da região; grau de urbanização/impermeabilização dos solos; estabelecimento de tempos de retorno de determinado evento; e quantificação das vazões máximas de projeto” (DIEDRICHS et al., p. 26).

A bacia do arroio da Ronda está localizada na porção sudoeste do perímetro urbano do município de Ponta Grossa (Figura 6), em grande parte na área urbana (26,11 km²), sendo apenas 8,32 km² localizados na área rural, perfazendo um total de 34,43 km². As nascentes do arroio estão localizadas na área urbana, com ocupação consolidada (MENEGUZZO, 2009) e a desembocadura no rio Tibagi, onde predominam os cultivos temporários diversificados (ALVES et al., 2018).

FIGURA 6 - Localização da bacia do arroio da Ronda no município de Ponta Grossa (PR).

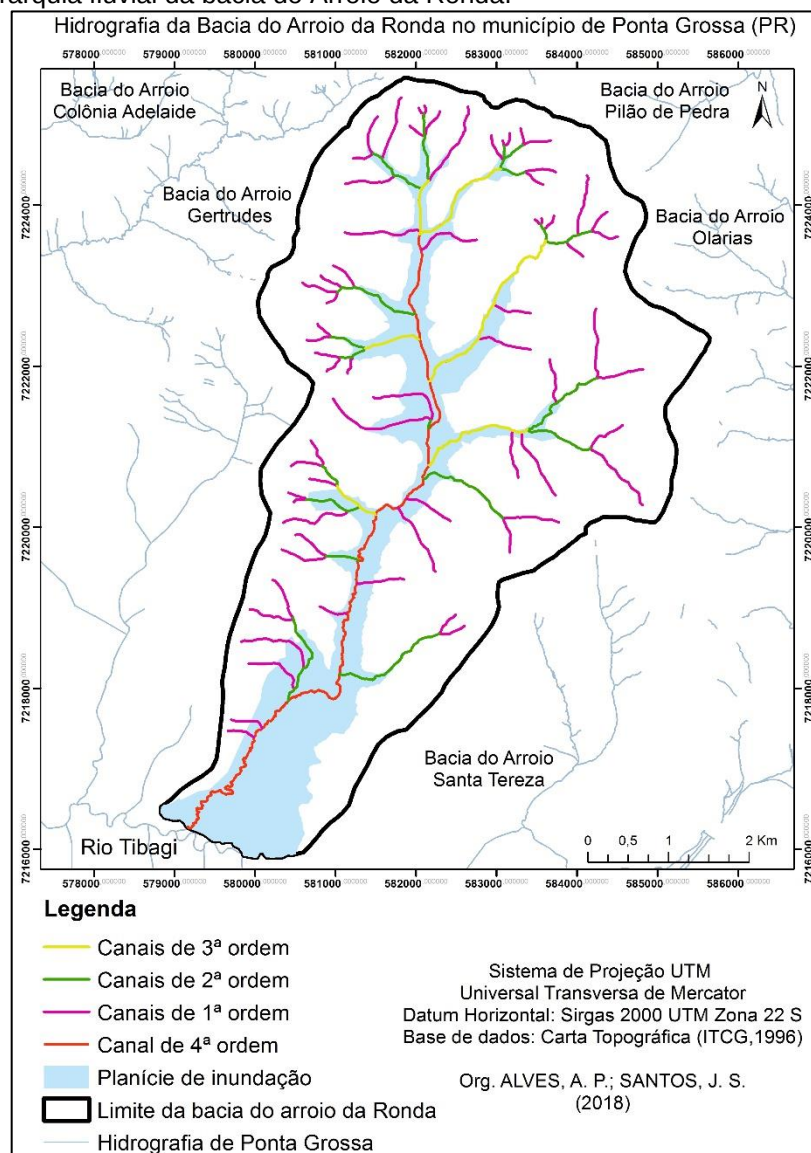


FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Carta topográfica de Ponta Grossa. 1996; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE PONTA GROSSA. Perímetro urbano de Ponta Grossa. 2006; A autora.

A bacia do arroio da Ronda é classificada como endorréica, o padrão da rede de drenagem, em relação à geometria dos canais, pode ser classificado como dendrítico, de forma alongada. Segundo Cunha (1998, p. 225) este padrão se desenvolve predominantemente sobre “rochas de resistência uniforme ou em rochas estratificadas horizontais”. O rio principal possui 12,33 km de extensão, sendo que a nascente principal está localizada nas proximidades do Parque Municipal Mata Boca da Ronda.

A figura 7 apresenta a hierarquia fluvial segundo Strahler, no qual foram contabilizados 67 cursos de água de 1ª ordem, 19 cursos de 2ª ordem e 6 cursos de 3ª ordem e o curso principal foi classificado como de 4ª ordem.

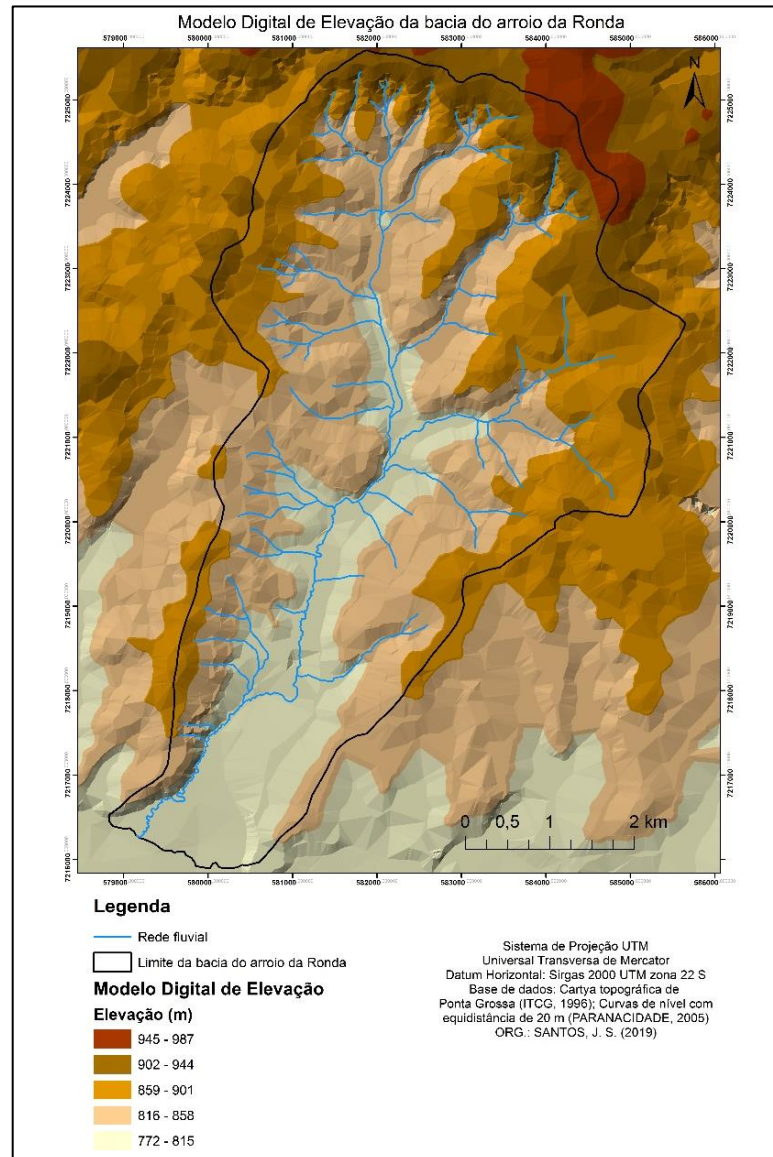
FIGURA 7 - Hierarquia fluvial da bacia do Arroio da Ronda.



FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Carta topográfica de Ponta Grossa. 1996; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; ALVES, A. P.; SANTOS, J. S.

A área de estudo está situada na unidade morfoescultural do Segundo Planalto Paranaense, caracterizado por um relevo suave e suave ondulado (GUIMARÃES et al., 2007). Conforme proposição de Santos et al. (2006) o município de Ponta Grossa está inserido na subunidade morfoescultural do Planalto de Ponta Grossa. A figura 8 apresenta a altimetria da bacia.

FIGURA 8 - Altimetria na área da bacia do arroio da Ronda.



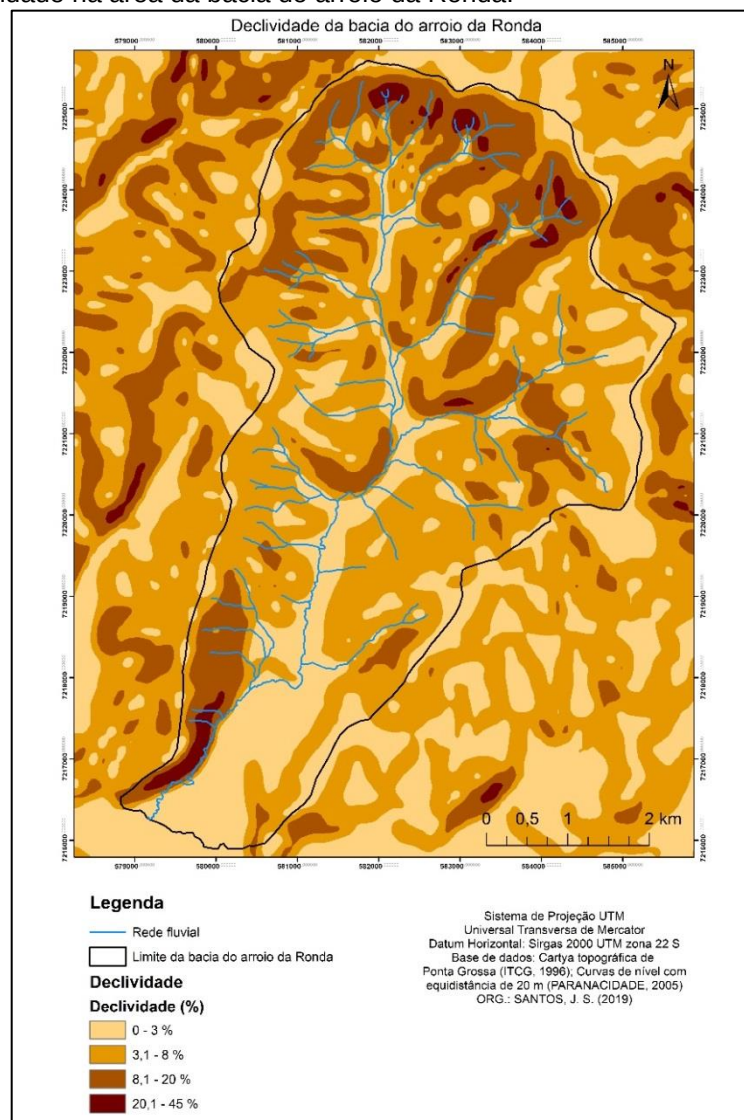
FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Carta topográfica de Ponta Grossa. 1996; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; A autora.

Segundo Meneguzzo (2009) há uma amplitude altimétrica de 180 metros na bacia do arroio da Ronda, nas cabeceiras apresentam cota máxima de 960 metros e na foz do arroio uma cota mínima de 780 metros. Esta diferença altimétrica dá-se devido ao controle estrutural e litológico exercidos nas nascentes deste arroio.

As vertentes na bacia do arroio da Ronda são, na grande maioria, convexas no topo e terço superior e retilíneas, na margem direita, presentes principalmente em direção a sub-bacia do arroio do Padre (afluente do arroio da Ronda) e também na margem esquerda. As vertentes côncavas apresentam-se em maior quantidade em direção a foz do arroio na margem direita do mesmo (MENEGUZZO, 2009).

A declividade predominante da área é de até 8% e segundo Beltrame (1994) corresponde a um relevo suave ondulado, com declividade fraca (IBGE, 2009). Nas cabeceiras do arroio, existem declividades que ultrapassam 8%, compreendendo de 20% até 45%, caracterizando respectivamente estas áreas como ondulado e fortemente ondulado e declividades moderadas a fortes (IBGE, 2009), como apresenta a figura 9.

FIGURA 9 - Declividade na área da bacia do arroio da Ronda.

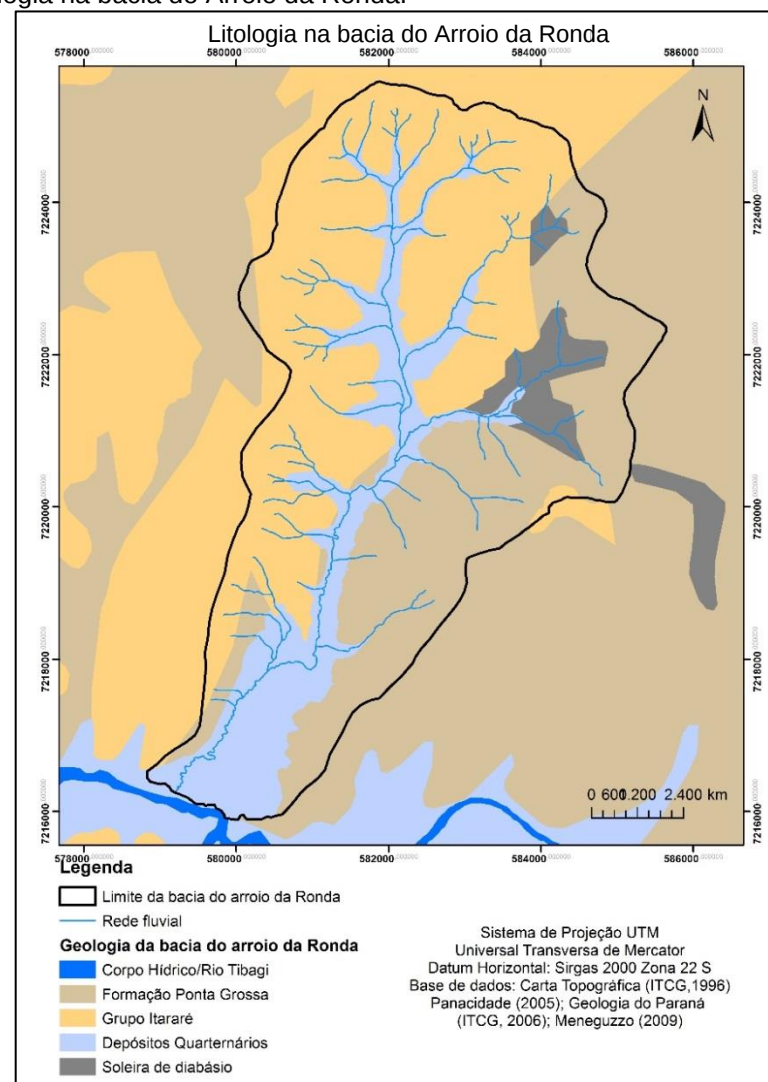


FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Carta topográfica de Ponta Grossa. 1996; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; A autora.

Nas áreas declivosas (acima de 8%) há presença de muitos canais, principalmente de primeira ordem, corroborando com a afirmação de quanto mais declivosa é a área maior o número de cursos de água, pois há maior escoamento superficial (MACHADO; SOUZA, 2005). A declividade também controla a velocidade do escoamento superficial, afetando o tempo que a água da chuva leva para concentra-se na rede de drenagem (VILLELA; MATTOS, 1975).

Na área de estudo, em relação aos aspectos geológicos, predominam rochas pertencentes à Bacia do Paraná, com rochas do Grupo Paraná (Formação Ponta Grossa) e do Grupo Itararé, assim como, rochas intrusivas básicas e sedimentos quaternários na planície aluvial (Figura 10).

FIGURA 10 - Litologia na bacia do Arroio da Ronda.



FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Geologia do Paraná. 2006; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; A autora.

A Formação Ponta Grossa é uma unidade constituída por rochas de granulação fina, predominantemente por rochas sedimentares, folhelhos e siltitos, cujas condições de sedimentação ocorreram “em ambiente de plataforma marinha e são comprovadas por uma grande variedade de microfósseis e macrofósseis” (GUIMARÃES et al., 2007, p. 30).

As rochas do Grupo Itararé estão divididas em três formações: Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul. São compostas por rochas sedimentares como os arenitos, argilitos, diamictitos, possuindo também rochas de textura areno-argilosas e areno-siltosas (MENEGUZZO, 2009; GUIMARÃES et al., 2007).

As rochas intrusivas básicas do Magmatismo Serra Geral referem-se às soleiras e diques de diabásio, dioritos, quartzodioritos e quartzomonzodioritos. “Os diques, são abundantes na região do eixo do Arco de Ponta Grossa e orientados na direção noroeste sudeste” (GUIMARÃES et al, 2007, p. 31).

Os sedimentos quaternários possuem origem aluvial e coluvial e estão presentes nas planícies de inundação, sendo sedimentos caracterizados por texturas de granulometria diferenciada como areias e argilas (MEDEIROS; MELO, 2001).

Diante das características da geologia da área de estudo, esta pode influenciar na formação de canais de água, através da infiltração das águas pluviais na determinação da direção dos cursos de água através das falhas e fraturas presentes nas rochas, propiciando maior ou menor sinuosidade dos cursos de água, controlando o sistema de drenagem (BARBOSA; CARVALHO, 2009).

Os solos da área de estudo foram identificados e reunidos em um esboço pedológico realizado por Meneguzzo (2009). Para que os solos da área de estudo fossem compilados e identificados Meneguzzo (2009) baseou-se principalmente na literatura e em trabalhos de campos na área da bacia do arroio da Ronda, estes trabalhos de campo não foram sistemáticos.

Uma das principais fontes bibliográficas utilizadas por Meneguzzo (2009) foi o livro Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná (MELO et al., 2007), o qual possui um capítulo direcionado a identificar, descrever e caracterizar os principais tipos de solos, suas posições no relevo, as declividades onde se localizam, processos de degradação ambiental e utilização dos solos dos Campos Gerais.

Outra fonte bibliográfica utilizada foi um trabalho produzido por Meneguzzo no ano de 2004, neste constam informações sobre algumas classes de solos

identificados nos trechos a montante do arroio da Ronda. Os trabalhos de campo realizados nos anos de 2008 e 2009 na área de estudo foram essenciais para a checagem e caracterização dos tipos de solos.

Segundo Meneguzzo (2009) nestes trabalhos de campo foram observadas características morfológicas dos perfis dos solos, como: cor, textura, estrutura e consistência. Para analisar estas características morfológicas a mesma autora seguiu as orientações do “Guia para identificação dos principais solos do Estado do Paraná” (FASOLO et al., 1986). Após as leituras e verificações em campo Meneguzzo (2009) produziu um mapa, contendo as classes de solos da área estudada. As principais bases para a produção deste mapa foram a rede de drenagem (Imagem Ikonos, 2004), as curvas de nível (Paranacidade, 2005, equidistância de 20m) e a declividade da bacia.

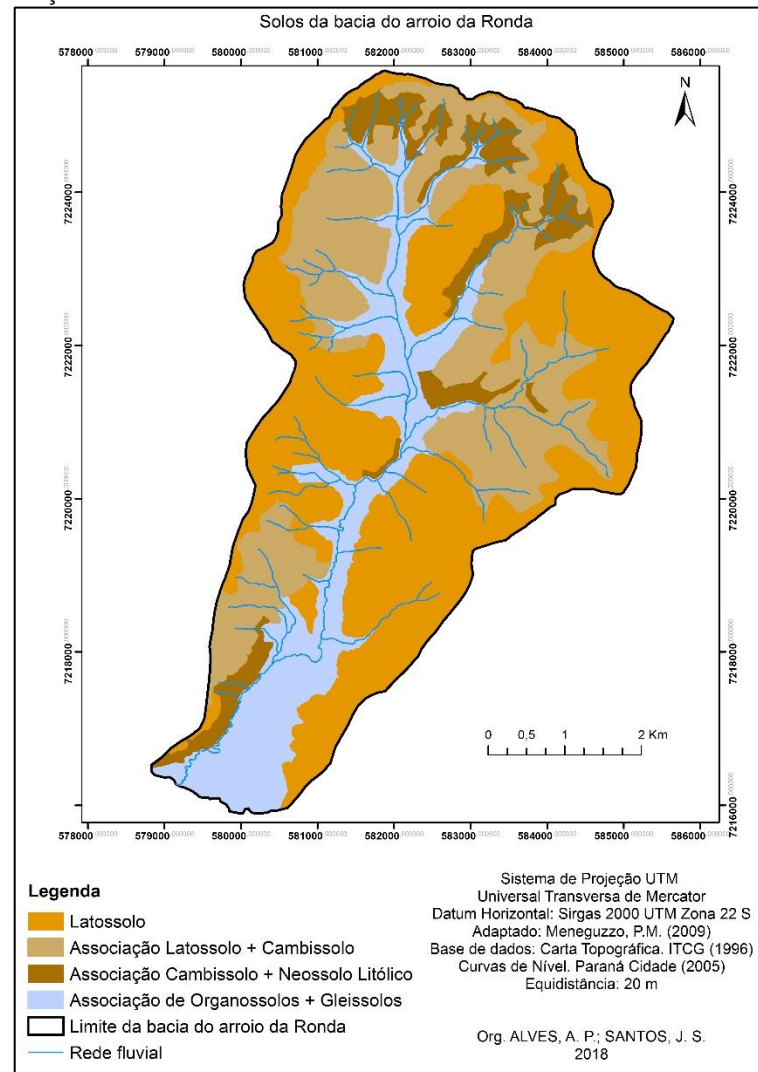
Após as leituras bibliográficas e da checagem em campo foram identificados os principais tipos de solos encontrados na bacia do arroio da Ronda, sendo: os Latossolos, e as associações de Latossolos e Cambissolos; Cambissolos e Neossolos; Gleissolos e Organossolos, conforme demonstrado na figura 11.

Os Latossolos Vermelhos são encontrados em áreas com relevo mais suave, com declividades que variam de 0 a 12%, nos topos, que correspondem aos divisores de água da bacia hidrográfica. Em declividades acima de 12% os Latossolos Vermelhos encontram-se associados aos Cambissolos.

Nas declividades entre 20 e 30% existem Cambissolos, porém associados aos Neossolos Litólicos. Em locais de relevo com declividade mais acentuada (acima de 30%) existem associações de Cambissolo, Neossolo Litólico e rocha. Nas planícies de inundação, nas quais as declividades apresentam-se até 8% encontram-se os Organossolos e Gleissolos.

Os Latossolos são solos com elevado grau de desenvolvimento pedogenético, sendo muito antigos, com espessura superior a 2 metros, “são em geral bem drenados, bem estruturados, porosos e profundos, com pequena diferenciação entre horizontes” (SÁ, 2007, p. 74). Podem apresentar textura argilosa e em alguns locais da bacia foi verificada a presença de Latossolos com textura areno-argilosa, influenciada pela rocha matriz, neste caso, pela presença dos arenitos do Grupo Itararé (MENEGUZZO, 2009).

FIGURA 11 - Distribuição dos solos na bacia do Arroio da Ronda.



FONTE: Adaptado de: MENEGUZZO, P. M. Evolução no uso da terra na bacia do Arroio da Ronda (Ponta Grossa-PR) e sua influência nos processos geomorfológicos. 148 f., 2009. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009; INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Carta topográfica de Ponta Grossa. 1996; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; ALVES, A. P.; SANTOS, J. S.

Os Cambissolos, segundo Sá (2007) são solos rasos com textura predominantemente média, tendendo a arenosa, e quando presente em locais declivosos são muito sujeitos à erosão. Estes solos são constituídos por material mineral com horizonte B (incipiente) de baixo desenvolvimento, abaixo do horizonte A (SÁ, 2007). “Localizam-se nos relevos mais dissecados e ondulados, nos interflúvios estreitos de vertentes curtas e abruptas, assim como nos terços inferiores de vertentes, na proximidade das redes de drenagem e das planícies” (SÁ, 2007, p. 77-78). Na área de estudo foram encontrados Cambissolos com até 1,50 metros de profundidade (MENEGUZZO, 2009).

Os Neossolos são em geral solos rasos, com textura predominantemente arenosa a média, devido estas características possuem suscetibilidade à erosão e consequentemente extrema fragilidade ambiental. Localizam-se geralmente “em porções da paisagem associadas aos afloramentos rochosos e declives acentuados” (SÁ, 2007, p. 78) situados sobre litologias como arenitos, siltitos, folhelhos, diques e soleiras.

As associações entre Cambissolos e Neossolos situam-se em declividades entre 20 a 30%, em áreas onde as vertentes são íngremes. Em vertentes íngremes acima de 30% de declividade, também ocorre à associação destes tipos de solos. Nestes locais a declividade apresenta-se acentuada, por conta disso os solos (Neossolo litólico, em específico) são poucos evoluídos e muito jovens, a água possui dificuldades para infiltrar no terreno. Portanto, devido à declividade ser acentuada e as rochas serem pouco permeáveis são dificultados os processos de intemperismo e a formação de solos profundos (MENEGUZZO, 2009).

Os Gleissolos são solos hidromórficos e permanentemente saturados por água, se desenvolvem em sedimentos recentes próximos aos cursos de água, estão geralmente localizados na transição entre os Organossolos e Cambissolos (SÁ, 2007).

Os Organossolos são solos pouco desenvolvidos, ácidos e pobres quimicamente, são constituídos principalmente por decomposição de vegetais. Localizam-se em ambientes úmidos, mal drenados, como nas várzeas e depressões do relevo ou em ambientes úmidos de elevadas altitudes. “São ainda encontrados em relevos ondulados e suave-ondulados nas vertentes côncavas convergentes, ou mesmo na base das vertentes” (SÁ, 2007, p. 80). Nas declividades mais baixas (menores que 8%) da bacia estudada, incluindo as planícies de inundação, são encontradas as associações de Organossolos e Gleissolos (MENEGUZZO, 2009).

Com relação ao comportamento climático da área, a precipitação média anual da bacia hidrográfica está entre 1.600 e 1.800 mm (CRUZ, 2007), marcada pela influência, principalmente das massas de ar: Polar Atlântica, Tropical Atlântica, Tropical Continental, Equatorial Continental; e pelas frentes frias (principalmente pela Frente Polar Atlântica e pela Frente Polar Pacífica) e frentes quentes, influenciadas pelo centro oceânico de alta pressão e o centro continental de baixa pressão. Na região onde se situa a bacia estudada e durante o período analisado

(1980 a 2017) foi registrado um total máximo de 204,2 mm de chuva em 24 horas (30/03/1998).

No período analisado as maiores concentrações de chuvas estão nos meses de junho, julho e agosto (ÁGUAS PARANÁ, 2018). As temperaturas variam ao longo do ano, sendo que as temperaturas mais elevadas normalmente apresentam-se nos meses de novembro a março (período do Verão), entre abril a outubro encontram-se as temperaturas mais amenas. No período do Inverno, nos meses de junho, julho e agosto estão as temperaturas mais baixas (MENEGUZZO, 2009).

Quanto aos aspectos fitogeográficos da bacia, a vegetação do município é caracterizada pela ocorrência da Floresta Ombrófila Mista, que resiste em capões isolados de mata, tanto na área urbana, quanto na área rural. Na área da bacia do arroio da Ronda ocorrem manchas isoladas, que compreendem principalmente os parques municipais Mata Boca da Ronda e Margherita Sannini Masini.

A vegetação de campo também está presente na área de estudo, porém em muitos locais não existem os campos naturais, mas sim campos antropizados, oriundos do desmatamento da Floresta Ombrófila Mista. Ao longo dos cursos de água também pode ser encontrada vegetação ripária, oriunda da Floresta Ombrófila Mista Aluvial, majoritariamente na área rural do município, pois na área urbana a vegetação em sua grande maioria foi alterada e retirada para a construção de moradias.

2.2. BASE DE DADOS

Primeiramente, foi realizada uma busca de arquivos para a elaboração da base cartográfica da área de estudo. Os arquivos foram obtidos em sites oficiais governamentais, órgãos públicos e bibliografias específicas.

Foi utilizada a carta topográfica de Ponta Grossa, escala 1:50.000 com equidistância entre as curvas de níveis de 20 metros, fornecidas pelo Instituto de Terras Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG, 1996; FOLHA SG-22-X-C-II-2/MI-2840-2), para determinação do limite da bacia do arroio da Ronda e da respectiva rede de drenagem. Também para a delimitação da bacia hidrográfica e para obter maior confiabilidade nos resultados, foram utilizadas as curvas de nível

(equidistância de 20 metros) do estado do Paraná fornecidas pelo Paranaidade e disponibilizada pelo Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geociências (DEGEO) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

As imagens utilizadas foram fotografias aéreas do ano de 1980, fornecidas pelo Instituto de Terras e Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG, 1980); Imagem de satélite QuickBird com resolução espacial de 60 centímetros, do ano de 2006, fornecida pelo Laboratório de Geoprocessamento do DEGEO; Imagem de satélite RapidEye do ano de 2014, com resolução espacial de 5 metros, fornecida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014) e disponibilizadas pelo Laboratório de Geoprocessamento do DEGEO.

Os dados pluviométricos foram obtidos da Águas Paraná, Instituto das Águas do estado do Paraná, compreendendo o período de 1980 a 2017. Este instituto oferece a possibilidade dos próprios usuários obterem os relatórios dos dados, tanto de precipitação diária, mensal e anual (utilizados nesta pesquisa), quanto relatórios de fluviometria, sedimentometria e de análise laboratorial das estações monitoradas.

Os dados pluviométricos obtidos pertencem à estação Santa Cruz, localizada no bairro Colônia Dona Luiza, situada próxima ao limite sudeste da bacia no perímetro urbano do município de Ponta Grossa, como demonstrado na figura 15. Esta estação iniciou suas atividades no ano de 1945, sendo gerenciada pela Agência Nacional de Águas e é composta de um pluviômetro do tipo *Ville de Paris*, em aço inoxidável e protegido por cercado de madeira (ANA, 2018). Dados de intensidade e quantidade de precipitação horária não foram possíveis de se obter, pois segundo informações da Agência Nacional de Águas a estação Santa Cruz não é uma estação telemétrica.

Os dados de ocorrências de alagamento e enchentes foram obtidos em dois momentos: primeiramente, foi consultado o 2º Grupamento do Corpo de Bombeiros de Ponta Grossa, que disponibilizou dados nomeados de alagamentos, a partir do ano de 2005 até o ano de 2017, referentes ao perímetro urbano de Ponta Grossa. Estes dados são apresentados na forma de relatório sucinto com 220 ocorrências. Neste relatório constam dados como, data e horário do atendimento da ocorrência, fração (qual unidade do Corpo de Bombeiros realizou o atendimento), tipo de evento gerador (o fenômeno), local (com descrição da rua, número, bairro, município e ponto de referência), o posto de atendimento (que está localizado em algumas áreas da cidade), as vítimas e automóveis envolvidos/afetados.

Na grande maioria das ocorrências de alagamentos, havia a anotação do nome da rua, número da residência, bairro e ponto de referência (Anexo A). Estes dados auxiliaram na espacialização dos pontos de alagamentos na bacia do arroio da Ronda. Com o auxílio do aplicativo *Google Maps* realizou-se a busca pelas 220 ocorrências e seus respectivos endereços, sendo que deste total, apenas 37 estavam inseridas na área de estudo. A partir da ferramenta Geocodificação do *software Quantum Gis 3.0*, foi possível realizar a espacialização dos referidos pontos de alagamento.

Em um segundo momento, foi consultado o acervo do Jornal da Manhã pertencente ao acervo de jornais da Casa da Memória do município de Ponta Grossa, com a finalidade de analisar ocorrências do período de 1980 até o ano de 2004, a fim de completar a base de dados do recorte temporal da pesquisa. A Casa da Memória oferece um rico e vasto acervo de jornais do município de Ponta Grossa, tais como o Jornal da Manhã e Diário dos Campos. O acervo encontra-se organizado em anos e meses, ou seja, para que uma determinada data possa ser pesquisada é necessário recorrer a estante marcada com o ano a ser analisado e buscar pela pasta ou pelo caderno de jornais¹ organizado por meses.

Para que a pesquisa em jornais fosse possível foi necessário encontrar datas de ocorrências de alagamentos, inundação ou enchentes na cidade de Ponta Grossa. A partir disso, foi realizado um compilado de 35 datas de ocorrências (compreendendo o período de 1980 a 2004), as quais foram encontradas na base de dados das seguintes fontes: Sistema Informatizado da Defesa Civil do Paraná, Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), Centro de Meteorologia de Bauru FC/UNESP (IPMet) e Meneguzzo (2009).

A pesquisa nos jornais foi realizada analisando-se todo o mês e não apenas o dia das ocorrências, esta ação possibilitou encontrar outras informações relevantes que auxiliaram na espacialização das mesmas. Na maioria das notícias dos jornais foi possível encontrar o fenômeno causador da desordem (alagamento, enchente, inundação, enxurrada desmoronamento e vendaval), as ruas, bairros, vítimas e prejuízos econômicos causados pelas chuvas extremas.

Destas 35 datas compiladas foram encontradas 90 notícias sobre transtornos provocados por tempestades em Ponta Grossa. Entre estas 90 notícias, 32 referem-

¹ Este termo está referindo-se a um conjunto de jornais de determinado mês que foram encadernados e unidos em um único arquivo.

se à área de estudo, isto é, notícias que abordavam transtornos provocados pelas chuvas extremas nos diversos bairros que pertencem à bacia do Arroio da Ronda, entre eles os mais abordados foram São Francisco, Ronda e Contorno. Entretanto, das 32 notícias, apenas em 23 delas foi possível identificar a localização e, portanto inseri-las no mapa de ocorrências que será exposto ao longo do trabalho.

Em relação ao tempo de concentração das águas pluviais na bacia do arroio da Ronda, este pode ser estabelecido através de equações empíricas como a fórmula de Tucci (2005) que utiliza como uma das variáveis o total de área impermeabilizada, considerando, portanto, o uso da terra, como apresentado na equação 1.

$$T_c = \frac{712,21.(A^{0,397})}{AI^{0,691}} \quad (1)$$

Onde:

Tc = Tempo de concentração em minutos

A = Área total de drenagem da bacia hidrográfica em km².

AI = Total de área impermeável da bacia em km².

2.3. USO DA TERRA

Para o mapeamento do uso e ocupação da terra da área de estudo foi utilizado o nível III do Manual do Uso da Terra do IBGE (IBGE, 2013), que explicita os usos propriamente ditos e comporta inúmeras combinações entre os tipos de uso, sendo um nível que apresenta maior riqueza de detalhes em relação à quantidade de classes. "Neste patamar é imprescindível a utilização de dados exógenos aos sensores remotos, como aqueles obtidos a partir de observações em campo, inventários, entrevistas e documentação em geral" (IBGE, 2013, p. 45).

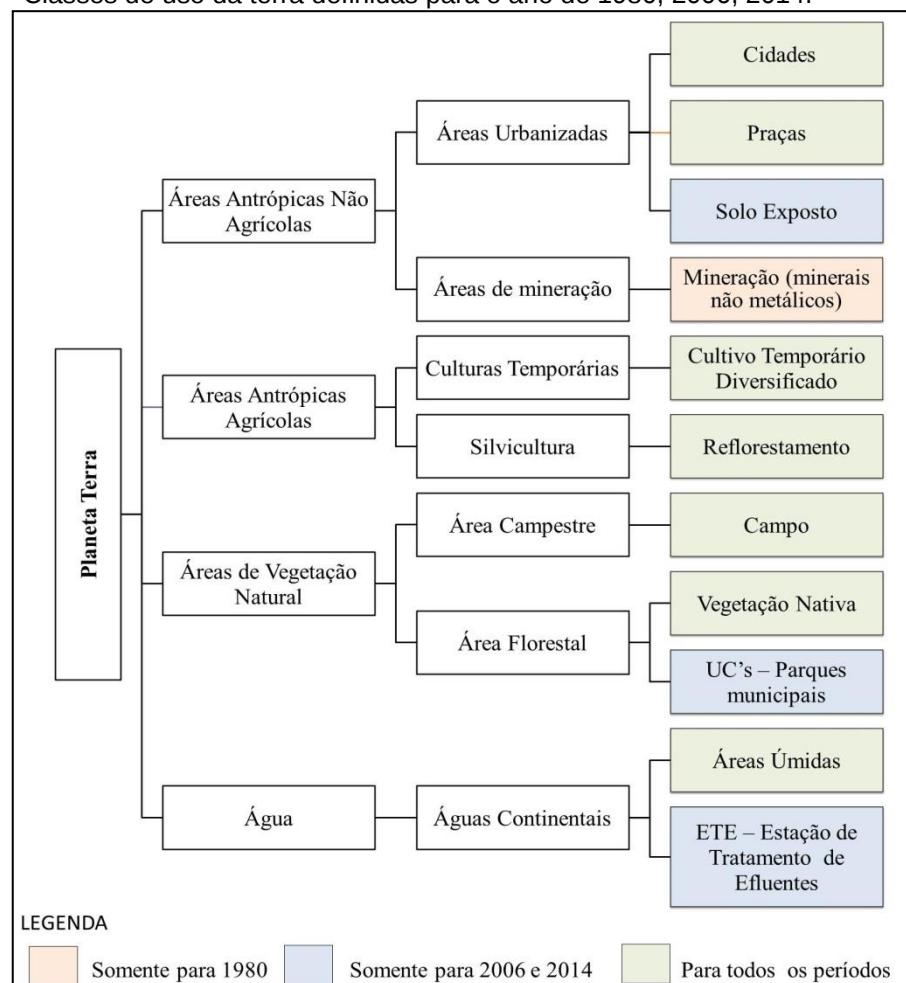
As classes definidas para o ano de 1980, 2006 e 2014 foram organizadas em um fluxograma com a finalidade de facilitar a compreensão do nível III, como mostra a figura 12.

Para o ano de 1980 as classes estabelecidas para o nível III foram: cidades, praças, mineração, cultivo temporário diversificado, reflorestamento, campo, vegetação nativa e áreas úmidas.

Para os anos de 2006 e 2014 as classes estabelecidas foram: cidades, praças, solo exposto, cultivos temporários diversificados, reflorestamento, campo, vegetação nativa, unidades de conservação de proteção integral (UC'S/parques municipais) e estação de tratamento de efluentes (ETE).

A classe áreas urbanizadas do nível II, são as áreas de uso intensivo, compostas por edificações e sistema viário, predominando as superfícies artificiais não agrícolas, incluem-se nesta classe as cidades, vias, complexos industriais, entre outros (IBGE, 2013). Neste nível há a ramificação para o nível III, compreendendo as cidades, praças e solo exposto.

FIGURA 12 - Classes de uso da terra definidas para o ano de 1980, 2006, 2014.



FONTE: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Manual técnico de uso da terra. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013; A autora.

NOTA: A classe Mineração esteve presente somente no ano de 1980; as classes Solo exposto, UC'S e ETE estavam presentes somente nos anos de 2006 e 2014.

A classe áreas de mineração tanto no nível II e III “referem-se a áreas de exploração ou extração de substâncias minerais” (IBGE, 2013, p. 55), podendo ser extração de minerais metálicos ou não metálicos.

Nas áreas antrópicas agrícolas, no nível II, existe a classe culturas temporárias, que compreendem a “cultura de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a produção deixa o terreno disponível para novo plantio” (IBGE, 2013, p. 57). No nível III os cultivos temporários diversificados compreendem uma “categoria que está associada aos mosaicos de usos que envolvem a utilização de mais de três produtos” (IBGE, 2013, p. 67), entre estas culturas estão à soja, milho, feijão, cana-de-açúcar.

A classe Silvicultura compreende áreas que há “atividade ligada a ações de composição, trato e cultivo de povoamentos florestais, assegurando proteção, estruturando e conservando a floresta como fornecedora de matéria-prima para a indústria madeireira, de papel e celulose ou para o consumo familiar” (IBGE, 2013, p. 83). O nível III, neste caso compreende o reflorestamento, um exemplo de povoamentos florestais são as plantações de Pinus e Eucaliptos.

A classe floresta do nível II compreende áreas de formações arbóreas, como as áreas de Floresta Densa, Floresta Aberta, Floresta Estacional, Floresta Ombrófila Mista, Savana Florestal, entre outros (IBGE, 2013). Para o nível III inclui-se as formações arbóreas, que compreendem a vegetação nativa e as unidades de conservação de proteção integral (UC’S/parque municipais).

A classe campestre do nível II compreende “formações não arbóreas, de estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso como as dunas e campos de areias”, (IBGE, 2013, p. 97), para o nível III, foi utilizada a classe campo.

A classe águas continentais “referem-se aos corpos d’água naturais e artificiais que não são de origem marinha, tais como rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes, etc.” (IBGE, 2006, p. 32), no nível III, compreendem as áreas úmidas e a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

A partir das classes definidas, a etapa seguinte correspondeu ao mapeamento de uso e ocupação da terra, sendo utilizada a técnica de fotointerpretação, tanto para as fotografias aéreas, quanto para as imagens de satélite QuickBird e RapidEye.

Para o mapeamento do ano de 1980 utilizou-se a técnica de estereoscopia nas fotografias aéreas, com auxílio de um estereoscópio de espelho. A partir disso foram eleitos alguns elementos visuais para a interpretação das imagens, identificando a ausência e presença de: sombra, textura, padrão, cor, forma e tamanho. Em seguida, foi realizada a vetorização sobre um mosaico das fotografias aéreas, com o uso do *Software ArcGIS* (versão 9.3) fornecido pelo Laboratório de Estudos Socioambientais do DEGEO da UEPG.

Para o mapeamento do ano de 2006 e 2014 utilizou-se respectivamente as imagens QuickBird e RapidEye, sendo que os procedimentos do mapeamento ocorreram a partir dos mesmos elementos visuais utilizados nas fotografias aéreas, sendo realizada a vetorização em tela em ambas as imagens. Para o ano de 2006 a imagem analisada abrange parte do perímetro urbano do município de Ponta Grossa e uma pequena parte da área rural da bacia estudada.

2.4. CURVE NUMBER (CN) E MODELOS HIDROLÓGICOS

Os modelos hidrológicos de precipitação-vazão possuem muita importância nos estudos hidrológicos, estes modelos têm inúmeras funções, dentre estas estão a de descrever a distribuição espacial da precipitação, detectar as perdas por interceptação vegetal, infiltração de água no solo, evaporação, determinar o escoamento superficial e identificar depressões no solo. Cada modelo hidrológico é uma composição de variáveis diferentes.

Segundo Tucci (2005) os aspectos mais importantes a serem analisados no uso e na estrutura dos modelos são: os objetivos estabelecidos para a utilização do modelo; as limitações na representação dos processos em relação aos objetivos definidos; a qualidade e quantidade de variáveis a serem utilizadas no modelo hidrológico.

Segundo o mesmo autor, a estrutura atual dos modelos hidrológicos de precipitação-vazão é baseada na discretização da bacia hidrográfica (critérios de subdivisão das bacias); variáveis temporais de entrada (precipitação, vazão, evapotranspiração); aquisição de dados físicos das bacias e na determinação de parâmetros.

O uso dos modelos possui objetivos distintos, como o melhor entendimento do comportamento dos fenômenos hidrológicos na bacia, análise de consistência e preenchimento de falhas, previsão de vazão, dimensionamento e previsão de cenários para planejamento urbano e rural, efeitos resultantes das modificações das bacias através dos diferentes usos e ocupações da terra (TUCCI, 2005).

Os modelos hidrológicos podem ser classificados quanto ao conceito e quanto aos usos e objetivos. A primeira classificação refere-se aos modelos empíricos, conceituais e físico-distribuídos. Em relação aos usos e objetivos há os modelos que simulam as condições estacionárias na bacia, utilizados para a previsão em tempo real e determinação de vazão máxima. Assim como, os modelos que simulam as alterações na bacia e o comportamento de processos hidrológicos. As aplicações variam entre a estimativa e variação de escoamento devido às alterações provocadas no meio ambiente, a partir do desmatamento, da urbanização, da construção de usinas hidrelétricas (TUCCI, 2005).

Inúmeros modelos hidrológicos de cunho empírico e conceituais foram criados e aprimorados com o avanço tecnológico, dentre estes estão: o Stanford IV (CRAWFORD; LINSLEY, 1966), série de modelos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH), modelo *Curver Number* (SCS/USA, 1954), modelo *Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation* (SSARR, 1972) desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers*, modelo *Soil & Water Assessment Tool* (SWAT - *Texas University/USDA*), modelo *Topmodel* (BEVEN et al., 1994) e o modelo *ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation* - BEASLEY; HUGGINS, 1981).

Diante da infinidade de modelos hidrológicos Tucci (2005) estabelece que o pesquisador ao utilizar um modelo hidrológico deve considerar:

- A) **Objetivos do estudo:** modelos com muitos parâmetros podem ser ineficientes quando a problemática de pesquisa não exige muito detalhamento dos processos.
- B) **As características da bacia e do rio:** há uma grande variabilidade de características físicas das bacias, um mesmo modelo dificilmente atenderá todas as condições dos sistemas que as compõem.
- C) **Disponibilidade de dados:** dados inexistentes podem inviabilizar a aplicação em alguns modelos sofisticados que exigem muitas variáveis, enquanto outros modelos exigem poucos parâmetros.

D) Familiaridade com o modelo: o modelo adequado costuma ser aquele com que o pesquisador possui maior sensibilidade sobre sua operação.

O modelo hidrológico *Curve Number* (CN) foi o escolhido para a interpretação dos resultados da área de estudo. O CN é um método de fácil aplicação, amplamente utilizado em pesquisas em várias partes do mundo e produz resultados satisfatórios a partir da combinação de dados físicos e de uso e ocupação da terra das bacias hidrográficas. Este modelo foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, atual *National Resource Conservation Service* (NRCS) no ano de 1954, sendo muito utilizado e difundido, em muitas pesquisas em todo o mundo, principalmente a partir da década de 1970.

Segundo Tassi et al. (2006) este método foi desenvolvido para pequenas bacias rurais dos Estados Unidos, e posteriormente vem sendo aprimorado para aplicação em pequenas bacias urbanas de vários países, com área total inferior a 100 km² (FAUSTINO, 1996; SILVEIRA; TUCCI, 1998), como é o caso da bacia do arroio da Ronda.

É um método utilizado em áreas que não possuem muitas informações hidrológicas, pois, permite também investigar os impactos dos diferentes usos da terra na resposta hidrológica das bacias hidrográficas. Os resultados podem ser aplicados em planejamentos ambientais, dimensionamento de obras hidráulicas e na previsão de enchentes e alagamentos (OLIVEIRA, 2018).

De acordo com Tucci (2001) o método é utilizado para várias análises, ou seja, além da estimativa de escoamento superficial, também se pode utilizá-lo para a obtenção do fluxo dos rios, recarga de água, transporte de sedimentos, volume de infiltração e umidade do solo. O CN foi desenvolvido pelo SCS com base na análise de mais de três mil tipos de solos e coberturas de vegetação e plantações, estabelecendo-se a relação empírica que “correlaciona a capacidade de armazenamento pela bacia a um índice de número de curva (CN)” (CANHOLI, 2005, p. 89).

Este método possui a função de obter um valor de escoamento superficial em bacias hidrográficas rurais e urbanas, que varia de 1 a 100, isto é, quanto mais próximo do valor 100, maior é o escoamento superficial e conseqüentemente menor é a infiltração das águas das chuvas, portanto é um modelo hidrológico que

demonstra o potencial de geração de escoamento superficial direto provocado por um evento de precipitação pluviométrica (NUNES, 2012).

Segundo Sartori et al. (2005b) o método CN estipula a estimativa da chuva excedente (escoamento Hortoniano). A chuva excedente é calculada através da equação 2 e 3 (SCS, 1972; SARTORI et al., 2005b):

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (2)$$

Onde:

Q = o volume do escoamento superficial ou chuva excedente em mm.

P = precipitação em mm.

S = potencial máximo de retenção em mm.

I_a = é a abstração inicial, ou seja, as perdas iniciais de precipitação sejam por interceptação, infiltração e retenção superficial ($P > 0,2$).

Substituindo os valores de perdas iniciais, preestabelecidos pelo SCS (1972), tem-se a equação 3:

$$Q = \frac{(P - 0,2.S)^2}{P + 0,8.S} \quad (3)$$

O método considera como perda inicial de água (I_a) a quantidade de água precipitada que não produz escoamento no início da chuva, representando em média 20% da capacidade de armazenamento do solo, o I_a é considerado como o valor de 0,2 e de 0,8.

O parâmetro S é estimado em função do número da curva de escoamento superficial (CN) e o S está relacionado a ele na equação 4 (SCS, 1972; SARTORI et al., 2005b):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

Onde:

S = é o potencial máximo de retenção de água pelo solo

CN = é o valor encontrado, de acordo com os grupos hidrológicos dos solos e pelo uso e ocupação da terra, que varia de 1 a 100.

A metodologia do CN estipula que para se estimar o escoamento superficial é necessário realizar a combinação das variáveis (TUCCI, 2001): Uso e ocupação da

terra de bacias rurais ou urbanas; características dos tipos de solos e umidade antecedente dos solos. O uso e ocupação da terra de bacias rurais ou urbanas (quadro 3) são considerados os tipos de cobertura da área estudada, comportando áreas mais permeáveis e menos permeáveis.

QUADRO 3 - Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II).

Tipo de uso do solo		Grupos Hidrológicos de Solos			
		A	B	C	D
Uso residencial					
Tamanho médio dos lotes e % impermeável					
Até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas					
Pavimentadas, com vias de drenagem		98	98	98	98
Com cascalho		76	85	89	91
De terra		72	82	87	89
Terreno preparado para plantio - Descoberto					
Plantio em linha reta		77	86	91	94
Culturas em fileira					
Linha reta	Condições ruins	72	81	88	91
	Condições boas	67	78	85	89
Curvas de nível	Condições ruins	70	79	84	88
	Condições boas	65	75	82	86
Culturas de grãos					
Linha reta	Condições ruins	65	76	84	88
	Condições boas	63	75	83	87
Curvas de nível	Condições ruins	63	74	82	85
	Condições boas	61	73	81	84
Campos					
Condições boas		30	58	71	78
Áreas úmidas		95	95	95	95
Florestas					
Condições ruins		45	66	77	83
Boas		36	60	73	79
Médias		25	55	70	77
Silvicultura		26	52	62	69

FONTE: PORTO, R. L. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001, p. 391-441.

O SCS realizou o estudo dos solos dos Estados Unidos e classificou estes solos em quatro grandes grupos, porém no Brasil a aplicação da metodologia para as bacias hidrográficas brasileiras, gerou algumas dificuldades (SARTORI et al., 2005a), pois as condições físicas e químicas dos solos americanos são diferentes das características dos solos brasileiros, características distintas que influenciam diretamente na taxa de infiltração de água no solo e na geração de escoamento superficial.

Segundo Sartori et al. (2005a) no Brasil foram realizados alguns estudos com o objetivo de estender, adaptar e compreender a classificação hidrológica para os solos brasileiros, a exemplo dos estudos de Setzer e Porto (1979), Lombardi Neto et al. (1989) e Kutner et al. (2001). Estes estudos apontaram, por exemplo, que alguns solos argilosos e arenosos não pertencem aos grupos hidrológicos de alto (solo argiloso) e baixo (solo arenoso) escoamento superficial, respectivamente, ou seja, alguns solos arenosos pertencem ao grupo D (alto escoamento) e alguns solos argilosos ao grupo A (baixo escoamento). Outra dificuldade em se utilizar a classificação proposta pelo SCS é a falta de testes de condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil dos solos, estes dados são escassos no Brasil.

Portanto, neste trabalho será considerado a classificação hidrológica dos solos para as condições dos solos brasileiros, proposta por Sartori et al. (2005), os quais basearam sua classificação no trabalho de Lombardi Neto et al. (1989). As características dos tipos de solos (quadro 4) considera as características de textura dos solos e a capacidade de saturação dos mesmos. São considerados quatro grandes grupos de solos, sendo estes o A, B, C, e D, considerando suas capacidades de infiltração.

QUADRO 4 - Classificação hidrológica dos solos para as condições dos solos brasileiros. (Continua)

Grupo Hidrológico	Tipos de solos	Características
A	Latossolo Amarelo; Latossolo Vermelho Amarelo; Latossolo Vermelho; ambos de textura argilosa e com alta macroporosidade. Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, ambos com textura média.	- Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm); - Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; - Solos porosos com baixo gradiente textural, - Solos de textura média; - Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil; - Solos bem drenados; - Solos com argila de atividade baixa.

QUADRO 4 - Classificação hidrológica dos solos para as condições dos solos brasileiros.

(Continuação)

Grupo Hidrológico	Tipos de solos	Características
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.	- Solos profundos (100 a 200 cm); - Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; - Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50; - Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso; - Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macro porosidade em todo o perfil; - Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; - A textura dos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.
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 (latossólico); Espodossolo Ferrocárbico; Neossolo Flúvico.	- Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); - Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; - São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; - Solos associados a argila de atividade baixa (Tb); - A textura nos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.

QUADRO 4 - Classificação hidrológica dos solos para as condições dos solos brasileiros.

(Conclusão)

Grupo Hidrológico	Tipos de solos	Características
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.	- Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão; - Solos rasos (prof. < 50 cm); - Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; - Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta); - Solos orgânicos.

FONTE: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.
SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; 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, v. 10, n. 4, Out./Dez. 2005a.

Após a análise dos tipos de solos pertencente à área de estudo segundo o trabalho de Meneguzzo (2009), foi possível classificar os tipos de solos da bacia do arroio da Ronda de acordo com os grupos hidrológicos de solos adaptados por Sartori et al. (2005a), conforme exposto no quadro 5.

QUADRO 5 - Classes de solos da Bacia do Arroio da Ronda de acordo com a classificação hidrológica de solos proposta pelo SCS e adaptada por Sartori et al. (2005a).

Classes de solos da Bacia do Arroio da Ronda	
Classes	Grupo Hidrológico
Latossolo	A
Latossolo + Cambissolo	A + C
Cambissolo + Neossolo litólico	C + D
Organossolo + Gleissolo	D

FONTE: SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; 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, v. 10, n. 4, Out./Dez. 2005a.
MENEGUZZO, P. M. Evolução no uso da terra na bacia do Arroio da Ronda (Ponta Grossa - PR) e sua influência nos processos geomorfológicos. 148 f., 2009. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

A partir do quadro 5 é possível observar que existem associações de solos na área de estudo, sendo: Latossolo e Cambissolo; Cambissolo e Neossolo litólico e Organossolo e Gleissolo. Estas associações não são enquadradas no mesmo grupo hidrológico, resultando em valores de CN distintos. Como a metodologia do CN pressupõe um único valor, foi necessário realizar uma média dos dois valores de CN (A+C e C+D), resultando em um CN médio para estas associações de solos. Esta média foi necessária tanto para determinar o valor CN propriamente dito, quanto para obter os valores de escoamento superficial (Q) e potencial de armazenamento de água no solo (S).

A umidade antecedente dos solos é considerada a quantidade de água no solo, ou condições de saturação de água no solo (úmidos, normais ou secos), como apresentado no (quadro 6). Nesta pesquisa foi considerada a condição II. Significando, desta forma, que os solos se encontram com umidade ideal, isto é, não muito secos ou muito úmidos.

QUADRO 6 - Condições de umidade antecedente dos solos.

Condição de umidade	Características
Condição I	Solos secos - as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassam 15 mm. Condição em que os solos de uma bacia hidrográfica estão secos, mas não ao ponto de murchamento das plantas, é quando se ara ou cultiva bem o solo.
Condição II	Situação média na época das cheias - as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizam de 15 a 40 mm. É o caso em que os solos encontram-se na “umidade ideal”, isto é, nas condições que precederam a ocorrência de uma enchente máxima anual em várias bacias hidrográficas.
Condição III	Solo úmido (próximo da saturação) - as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação. Condição em que os solos se apresentam quase saturados, quando da ocorrência de chuvas fortes ou fracas e baixas temperaturas durante 5 dias anteriores a uma determinada precipitação.

FONTE: PORTO, R. L. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995.
TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001, p. 391-441.

Segundo Sousa (2008) ao longo de um evento de precipitação a umidade do solo exerce influência na capacidade deste de absorver água, pois, por exemplo, a tendência do solo saturar ocorre após períodos prolongados de chuva, reduzindo a infiltração e consequentemente aumentando o escoamento superficial (SOUZA, 2008).

Entretanto, como forma de padronizar as condições de umidade dos solos, foi considerada a situação média da umidade antecedente dos solos, isto é, considerou-se uma situação hipotética em que os solos da bacia do arroio da Ronda não se encontravam excessivamente secos ou excessivamente úmidos.

Será realizada uma comparação com os dados das 60 ocorrências, as comparações serão entre os resultados do uso da terra, tipos de solo (incluindo a umidade antecedente), declividade e precipitação da bacia.

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são abordados os resultados que demonstram a espacialização das ocorrências de alagamentos e enchentes registradas durante o período de 1980 a 2017. Discute-se o processo de uso e ocupação da terra na bacia do arroio da Ronda e são apresentadas as áreas de maior suscetibilidade a geração de escoamento superficial, propiciando ocorrências de alagamentos e enchentes.

3.1. OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E ENCHENTES

A precipitação ocorrida no período de 1980 a 2017 na bacia do arroio da Ronda mostrou-se diferenciada. O pluviograma (Figura 13) que demonstra a precipitação ocorrida neste período utiliza os totais mensais de chuva da bacia no período especificado. Além disso, na figura 13 são revelados valores de participação de cada mês no ano que se refere.

Pode-se perceber que o mês de março de 1998 foi o mais chuvoso com 497,8 mm e o mês mais seco foi julho de 2017 com 0 mm, estes valores são episódicos, isto é, geralmente nestes meses ocorrem precipitações respectivamente em torno de 150 e 100 mm (INMET, 2020).

A precipitação analisada para a cidade de Ponta Grossa e utilizada para a bacia do arroio da Ronda compreendeu uma série temporal de 37 anos, abrangendo o período de 1980 a 2017. Conforme demonstrado no pluviograma (Figura 13), que utilizou os totais mensais e anuais de chuva no período analisado, o ano mais úmido foi 1983, que registrou 2.217,2 mm e o ano com a menor precipitação foi 1985 com 900,2 mm.

A média histórica anual de precipitação para o período foi de 1.655,29 mm, valores acima daqueles encontrados por Carvalho e Stipp (2004) que analisaram o período de 1954-1996, para a mesma cidade, e encontraram uma média de 1523,3 mm. A média mensal de precipitação da área da bacia foi de 137,9 mm, igualmente acima dos 126,9 mm verificados por Carvalho e Stipp (2004). As maiores precipitações ocorreram no verão, no trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro, fato

também observado por Carvalho e Stipp (2004), para os dados de 40 estações no estado do Paraná.

FIGURA 13- Pluviograma da bacia do arroio da Ronda - Precipitação mensal e anual de 1980 a 2017.

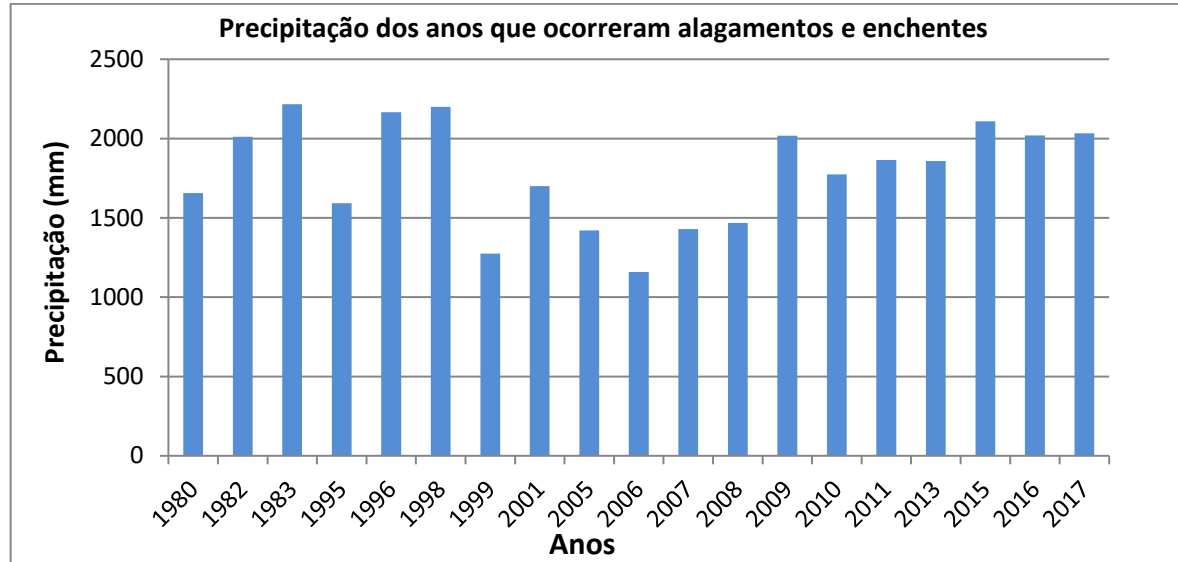
	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1980	175,8	261,4	55,4	85,4	65,5	95,3	192,1	107,9	240	113,7	40,1	223,1	1655,7
1981	143,8	149,6	29,4	120	40,2	39,1	27,8	25,8	60,5	159,6	125,8	209,2	1130,8
1982	115,4	228,1	134,9	15,6	71,7	321,6	180,5	69,3	35,2	271	341,6	227,1	2012,0
1983	135,5	139,3	226,1	178,9	434,2	258,1	255,5	0,6	281,4	125,3	84,7	97,6	2217,2
1984	152	73,6	163	127,9	146,2	124,5	54	174,2	169,6	25,3	232,6	187,2	1630,1
1985	80,9	133,5	115,9	164,5	37,8	27	30,5	4,6	96,7	78,6	103,5	26,7	900,2
1986	182	122,6	97,8	109,2	233,5	15	17,1	157,3	81,1	125,2	111,3	287,3	1539,4
1987	182,5	186,4	35	154,8	339,5	135,6	58,6	73,6	103,1	111,8	64,4	119	1564,3
1988	66,9	103	135,3	174,3	311,5	63,5	17,1	2,7	81,6	109,6	22,4	120,7	1208,6
1989	305,3	165,3	85,7	122,6	152,8	78,6	210,1	75,6	184,5	111,1	69,1	130,9	1691,6
1990	453,8	116,2	132,1	176,5	75,8	100,8	276,8	166	199,9	128,7	175,9	85,2	2089,7
1991	74,7	236,1	120,2	127,8	50,7	161,6	10,6	62,6	40,9	164,6	72,3	173,5	1295,6
1992	79,1	190,5	228,8	52,3	300,5	38,7	140,7	132,8	91,8	129,5	121,9	46,5	1553,1
1993	172,3	174,6	92,3	67,8	181,2	88,4	128,9	15,6	274,4	179,6	159,2	200	1734,3
1994	105,1	110,8	77,1	78,9	107	172,2	128,1	18,5	10,9	100,5	222,5	158,1	1289,7
1995	420,8	86,3	113,5	102,3	31,7	107,4	119	38	194,2	218,1	74,6	87,3	1593,2
1996	191,5	254,7	483,8	65	6,5	116,8	91,2	93,7	192	261,9	150,1	257,5	2166,6
1997	223	189,5	20	40,9	57,6	199,6	55	65,8	178,8	231,5	197,6	175,7	1635,0
1998	129,6	151,5	497,8	239,7	67,5	100,9	99,5	239,1	296,9	198,6	18,6	160,4	2200,1
1999	160,8	226,1	201,7	71,1	50,6	124,2	102,2	3,7	97,9	82,2	63,8	89,8	1274,1
2000	110,1	271,5	94,2	20,5	22,6	131	87,7	115,4	285,7	180,2	130,2	318,4	1767,5
2001	191,1	302,7	95,2	86,6	156,7	88,1	131,2	80,4	114,7	235,8	124,2	94	1700,7
2002	253,7	143,5	60,7	12,9	121,8	29	37,9	99,3	215,2	138,3	206,5	122,7	1441,5
2003	98,3	106,3	88,9	112	31	52,3	129,9	15	136,5	178,8	187,1	286,5	1422,6
2004	59,9	49,7	75,8	85,2	172	104,6	136	16,7	81,4	211,7	204,7	215	1412,7
2005	172,9	67,2	40,6	140	139,5	57,9	76,4	100,1	261,6	244,2	84,6	35,4	1420,4
2006	98,9	112,4	86	11,3	8,9	33,1	68,5	59,5	237,7	75,9	211,1	154,8	1158,1
2007	217,7	142,7	155,7	71	159,4	4,3	145,6	22,7	46	59,7	187,1	218	1429,9
2008	140,2	145,1	130,1	158,8	80,1	141,5	53,7	183,1	53	266,1	92,9	23	1467,6
2009	258,8	205,2	99,9	12,3	81,3	97,2	339,6	99,6	269,1	171,3	200,6	183,1	2018,0
2010	251,4	227,7	248,7	157,1	79	66,3	99,1	35,3	59,5	172,4	83,4	293,5	1773,4
2011	361	206,1	79,6	81,3	26,6	128,6	159,6	392,4	62,3	209	110,4	47,8	1864,7
2012	189,8	154,2	119,1	216,5	79,4	255,8	72,6	5,6	71,3	164,4	169,4	226,9	1725,0
2013	91,6	266,1	153,4	97,1	153,4	347,2	105,9	30,8	180,7	114,9	132,3	184,4	1857,8
2014	223,4	147,3	180,2	106,4	111,5	172,9	61,3	59,8	229	64,6	247,4	294,8	1898,6
2015	154,6	201	183,7	102,3	243,7	86,4	311,4	55,9	153,5	161,2	244,8	210	2108,5
2016	163,1	289,1	146,4	101,8	370,1	143,9	130,1	199,2	63,7	125,7	125,6	161,3	2020,0
2017	294,3	292,3	152,4	79,3	117,5	181	0	101	68,2	322,7	214,3	209,6	2032,6

LEGENDA			
			
= Mês/ano mais úmido		= Mês/ano mais seco	
MENSAL		ANUAL	
401 a 500 mm		2051 a 2350 mm	
301 a 400 mm		1751 a 2050 mm	
201 a 300 mm		1451 a 1750 mm	
101 a 200 mm		1151 a 1450 mm	
0 a 100 mm		850 a 1150 mm	

FONTE: ÁGUAS PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. Relatórios e Alturas de Precipitação (diário, mensal e anual) do período de 1980 a 2017. 2018; A autora.

A figura 14 tem o propósito de complementar as informações do pluviograma, porém a precipitação demonstrada nesta figura refere-se aos anos que tiveram ocorrências de alagamento e enchentes na área de estudo.

FIGURA 14 - Precipitação dos anos que registraram ocorrências de alagamentos e enchentes.



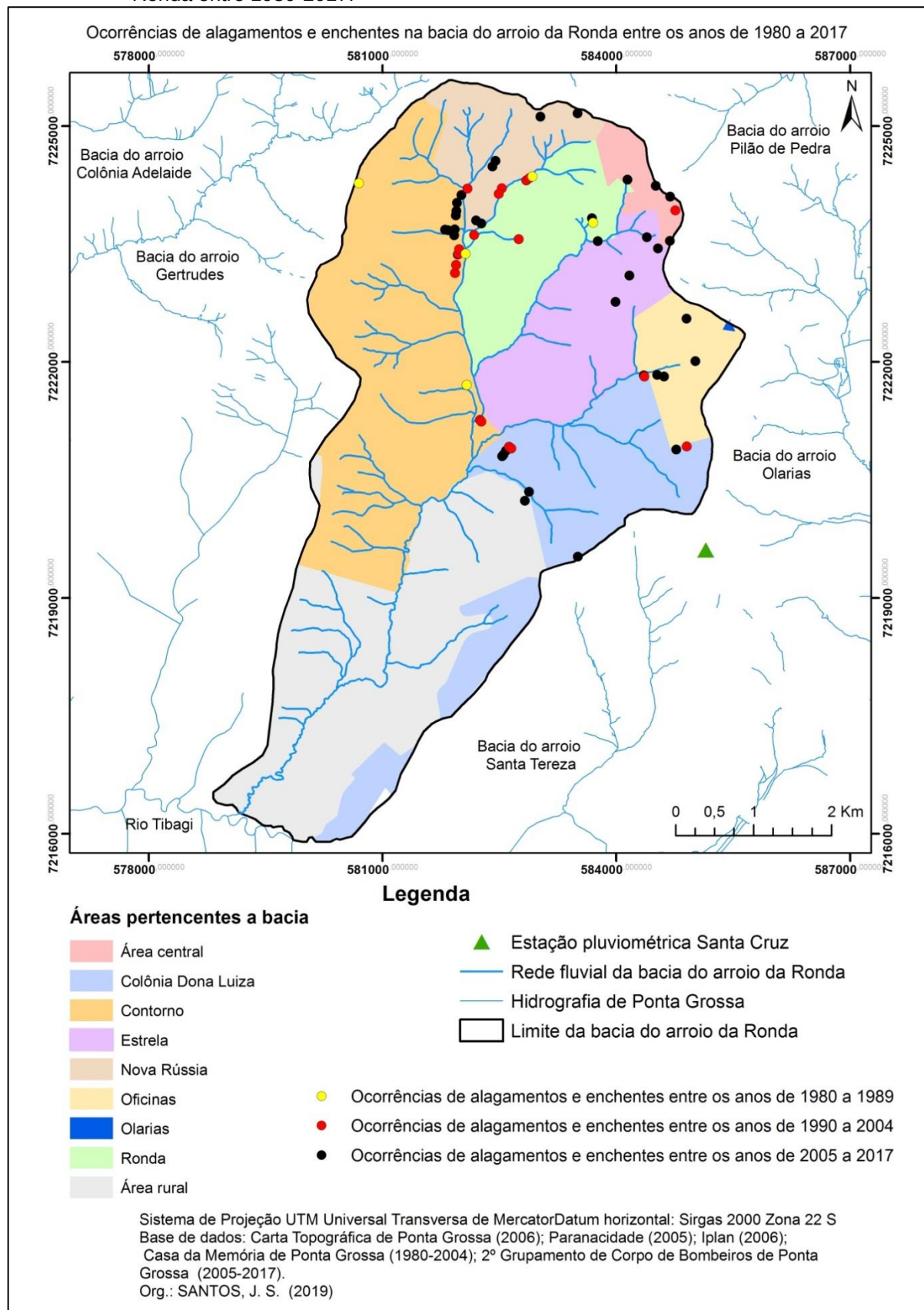
FONTE: ÁGUAS PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. Relatórios e Alturas de Precipitação (diário, mensal e anual) do período de 1980 a 2017. 2018; A autora.

O ano de 1998 foi um dos mais chuvosos do período analisado com ocorrências, também foi marcado pela influência do fenômeno *El Niño*. Segundo Moraes Neto et al. (2006) de forma simplificada o *El Niño Oscilação Sul* (ENOS) “é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, associado às alterações dos padrões normais da TSM (temperatura da superfície do mar) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e a Austrália” (MORAES NETO et al., 2006, p. 62).

As consequências do ENOS para a América do Sul estão relacionadas a eventos hidrológicos e climáticos, tanto pelo excesso de precipitação pluviométrica e aumento da temperatura, quanto pela falta de chuva com as ocorrências da seca nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. O ENOS pode provocar episódios desastrosos, como os excessos hídricos ocorridos nos anos de 1982/1983 e 1997/1998 (MORAES NETO et al., 2006; FERREIRA et al., 2017).

A partir dos dados fornecidos pelo 2º Grupamento do Corpo de Bombeiros de Ponta Grossa e encontrados através de pesquisas em jornais da Casa da Memória, foi possível localizar 60 pontos, registrados como alagamentos e enchentes na área de estudo (Figura 15). Dentre estes, 5 na década de 1980, 13 na década de 1990, 24 na década de 2000 e 18 a partir da década de 2010 até 2017.

FIGURA 15 - Espacialização das ocorrências de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da Ronda entre 1980-2017.



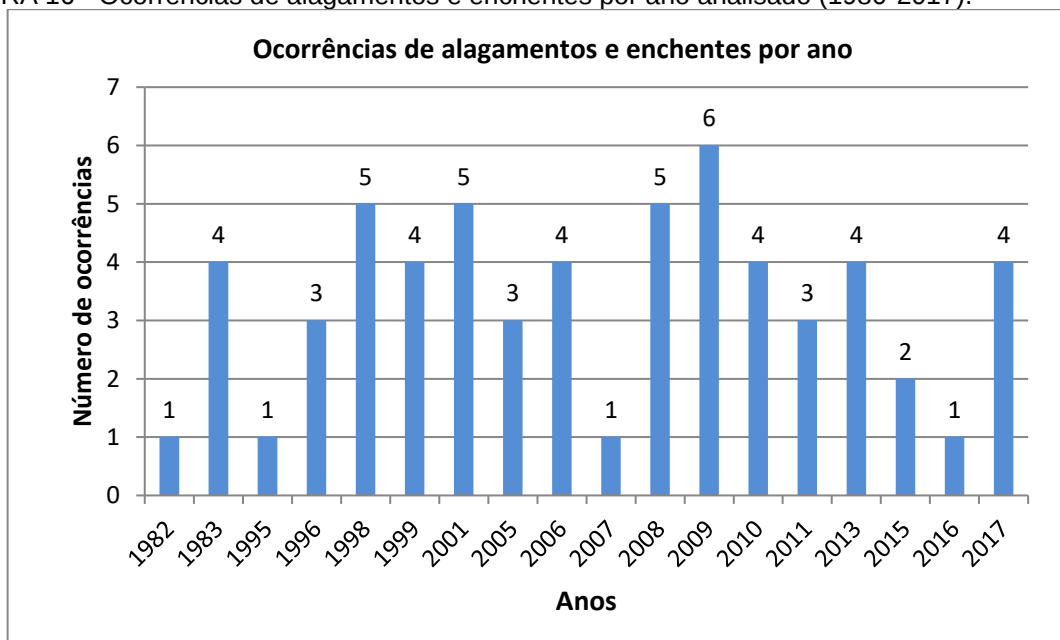
FONTE: JORNAL DIÁRIO DOS CAMPOS. Ocorrências de alagamentos e enchentes entre 1980 a 2004; 2º GRUPAMENTO DE CORPO DE BOMBEIROS DE PONTA GROSSA. Ocorrências de alagamentos e enchentes entre 2005 a 2017; A autora.

A maior parte das ocorrências foi registrada no curso superior do arroio da Ronda, tanto na margem direita quanto na esquerda, sendo muitas delas próximas as nascentes. Salientando uma sequência de ocorrências na margem direita próxima ao curso principal propriamente dito.

A figura 16 demonstra as ocorrências por ano analisado, sendo que o ano de 2009 foi o que registrou maior quantidade de alagamentos (6). Porém, no ano de 2014, marcado por intensas precipitações e inúmeras ocorrências de inundações e alagamentos em todo estado do Paraná, não foi registrada nenhuma ocorrência na área da bacia estudada. No entanto, na área urbana do município de Ponta Grossa, neste mesmo ano foram registradas 12 ocorrências denominadas de alagamentos.

Os anos de 1998, 2001 e 2008, registraram o segundo maior número de alagamentos, sendo 5 ocorrências em cada ano. Quando analisados os anos que obtiveram grandes índices pluviométricos (igual ou superior a 2000 mm anuais), também apresentaram várias ocorrências de alagamentos e enchentes, como os anos de 1983, 1996, 1998, 2009, 2015 e 2017.

FIGURA 16 - Ocorrências de alagamentos e enchentes por ano analisado (1980-2017).

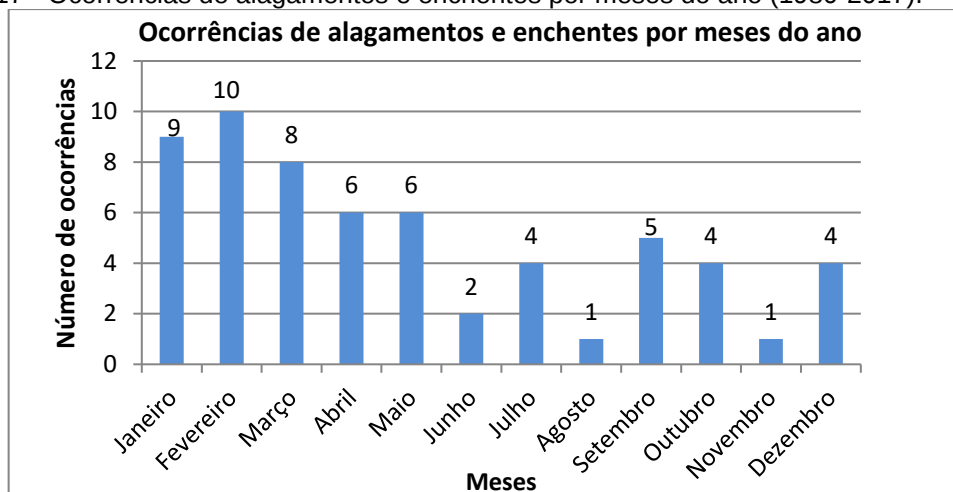


FONTE: JORNAL DIÁRIO DOS CAMPOS. Ocorrências de alagamentos e enchentes entre 1980 a 2004; 2º GRUPAMENTO DE CORPO DE BOMBEIROS DE PONTA GROSSA. Ocorrências de alagamentos e enchentes entre 2005 a 2017; A autora.

As ocorrências de alagamentos segundo os meses do ano (Figura 17) concentraram-se, especialmente nos meses de janeiro, fevereiro e março. São meses que apresentam altos índices de precipitação, principalmente na estação do

verão (CRUZ, 2007; CARVALHO; STIPP, 2004). Geralmente apresentam altos índices pluviométricos em curtos períodos de tempos, fato este que pode gerar alagamentos na área urbana e em dias de chuva consecutivos, podendo ocasionar enchentes.

FIGURA 17 - Ocorrências de alagamentos e enchentes por meses do ano (1980-2017).



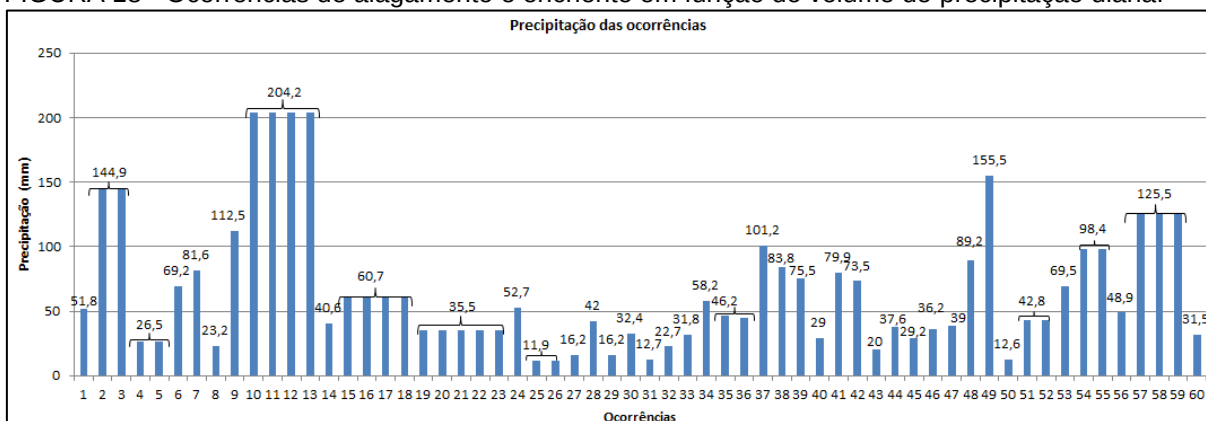
FONTE: JORNAL DIÁRIO DOS CAMPOS. Ocorrências de alagamentos e enchentes entre 1980 a 2004; 2º GRUPAMENTO DE CORPO DE BOMBEIROS DE PONTA GROSSA. Ocorrências de alagamentos e enchentes entre 2005 a 2017; A autora.

Quando analisadas as 60 ocorrências de alagamentos e enchentes e o total de precipitação em 24 horas observa-se que estes ocorreram tanto com grandes quantidades de precipitação, quanto com baixas quantidades (Figura 18). As ocorrências 10, 11, 12 e 13 foram registradas em um mesmo dia (30/03/1998), o qual obteve uma precipitação total de 204 mm, um alto índice de precipitação para um único dia, muito superior a média do período para o mês de março, sendo 137 mm.

Em contrapartida, há ocorrências com precipitação diária considerada baixa, como nas ocorrências de número 25 e 26 com 11,9 mm. Quando observados os 5 dias que antecederam este alagamento, não houve registro de precipitação, ou seja, o solo não estava saturado, pois a umidade antecedente do solo poderia auxiliar para a ocorrência de alagamentos na área.

Esta ocorrência pode estar associada a um sistema de drenagem urbana ineficaz, seja pela falta de compartimentos que auxiliem a captação adequada do fluxo de água nas vias ou pelo comprometimento deste sistema de drenagem pelo acúmulo de resíduos sólidos que acabam obstruindo as bocas de lobo e consequentemente aumentando o fluxo de água nas vias e calçadas.

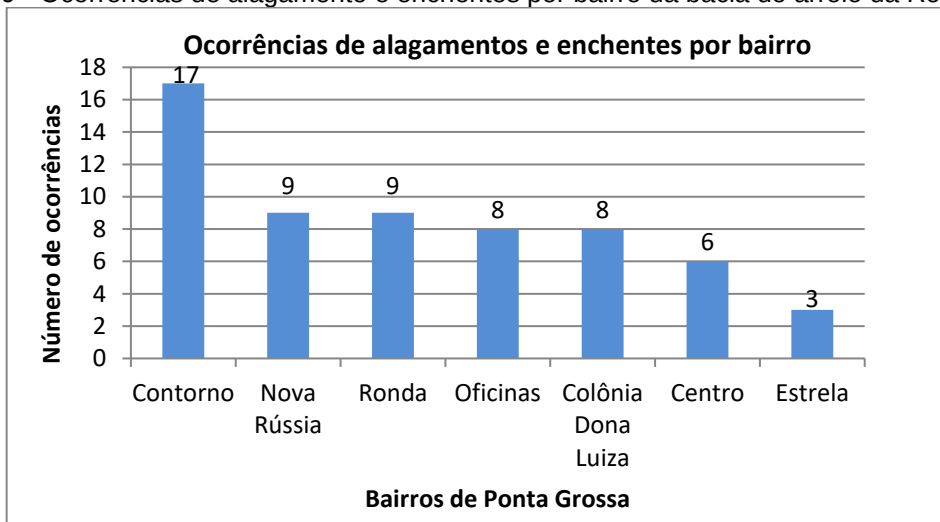
FIGURA 18 - Ocorrências de alagamento e enchente em função do volume de precipitação diária.



FONTE: ÁGUAS PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. Relatórios e Alturas de Precipitação (diário, mensal e anual) do período de 1980 a 2018. 2018; A autora.

Em relação às ocorrências segundo a localização por bairros de Ponta Grossa, localizados na área da bacia (Figura 19), pode-se verificar que o bairro Contorno é o que possui maior número de ocorrências (17), seguido dos bairros Nova Rússia (9), Ronda (9), Oficinas (8) Colônia Dona Luiza (8), Centro (6), Estrela (3). Estas áreas possuem a característica de terem uma urbanização consolidada e acentuada, principalmente nos bairros Nova Rússia e Oficinas.

FIGURA 19 - Ocorrências de alagamento e enchentes por bairro da bacia do arroio da Ronda.



FONTE: JORNAL DIÁRIO DOS CAMPOS. Ocorrências de alagamentos e enchentes entre 1980 a 2004; 2º GRUPAMENTO DE CORPO DE BOMBEIROS DE PONTA GROSSA. Ocorrências de alagamentos e enchentes entre 2005 a 2017; A autora.

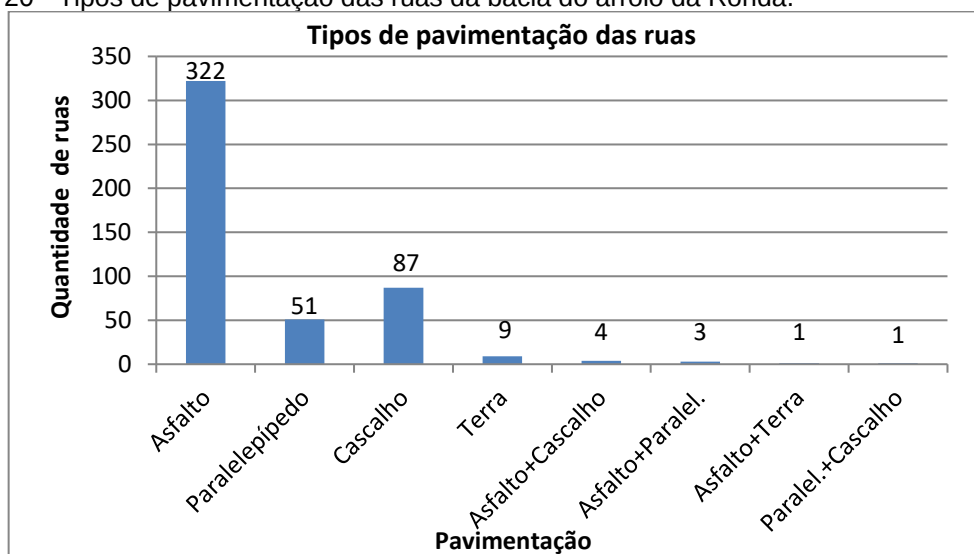
A grande maioria das ocorrências no bairro Contorno se dá paralelamente ao curso d'água, sendo possível notar que nestes locais houve ocorrências em todos os períodos analisados, e apresentam como característica, áreas pouco declivosas, com declividades entre 3 a 8%, sendo os menores valores na área de estudo.

As ruas localizadas na bacia do arroio da Ronda também foram observadas utilizando-se o *Google Street View*. Para a contabilização e verificação das características de pavimentação foram utilizadas informações disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Ponta Grossa. As ruas foram contabilizadas, sendo, 478 vias existentes na área de estudo. A verificação das ruas se deu de forma a identificar: o tipo de pavimentação; se as ruas cortam as curvas de nível (equidistância de 20 metros); se possuem sistema de drenagem de águas pluviais e quais tipos de sistema de drenagem.

Em relação à pavimentação das ruas foram identificadas ruas asfaltadas, ruas com cascalho, ruas com pedras/paralelepípedos (pavimentação poliédrica), ruas sem pavimentação (leito natural ou solo exposto) e ruas com cobertura mista, tais como asfalto e cascalho; asfalto e paralelepípedos; asfalto e leito natural; paralelepípedos e cascalho.

Conforme a figura 20 o maior número de ruas (322) encontra-se com pavimentação asfáltica. As demais ruas apresentam cobertura de cascalho (87); pavimentação poliédrica (51) e ruas sem nenhum tipo de pavimentação ou cobertura em solo exposto (9). Há ainda as ruas com descontinuidade de pavimentação, ou seja, ruas que possuem pavimentação mista ao longo de sua extensão, totalizando 9 ruas.

FIGURA 20 - Tipos de pavimentação das ruas da bacia do arroio da Ronda.



FONTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. Vias de Ponta Grossa. 2019; *Google Maps*, 2011-2018; A autora.

Todas as ruas identificadas com sistema de drenagem possuem o mesmo método de captação das águas pluviais, sendo a boca de lobo e estão presentes em

268 ruas. Em contrapartida 152 ruas não possuem nenhum método de captação de águas pluviais. Em algumas destas 152 ruas foram verificadas somente a presença de guias e/ou sarjetas (popularmente denominadas de meio-fio), que por sua vez podem auxiliar no escoamento das águas, mas não são suficientes para a correta captação das águas nas ruas. Não foi possível verificar o sistema de drenagem de 58 ruas, pois são ruas que no ano de 2019 receberam revestimento asfáltico, sendo possível a verificação somente em atividade de campo.

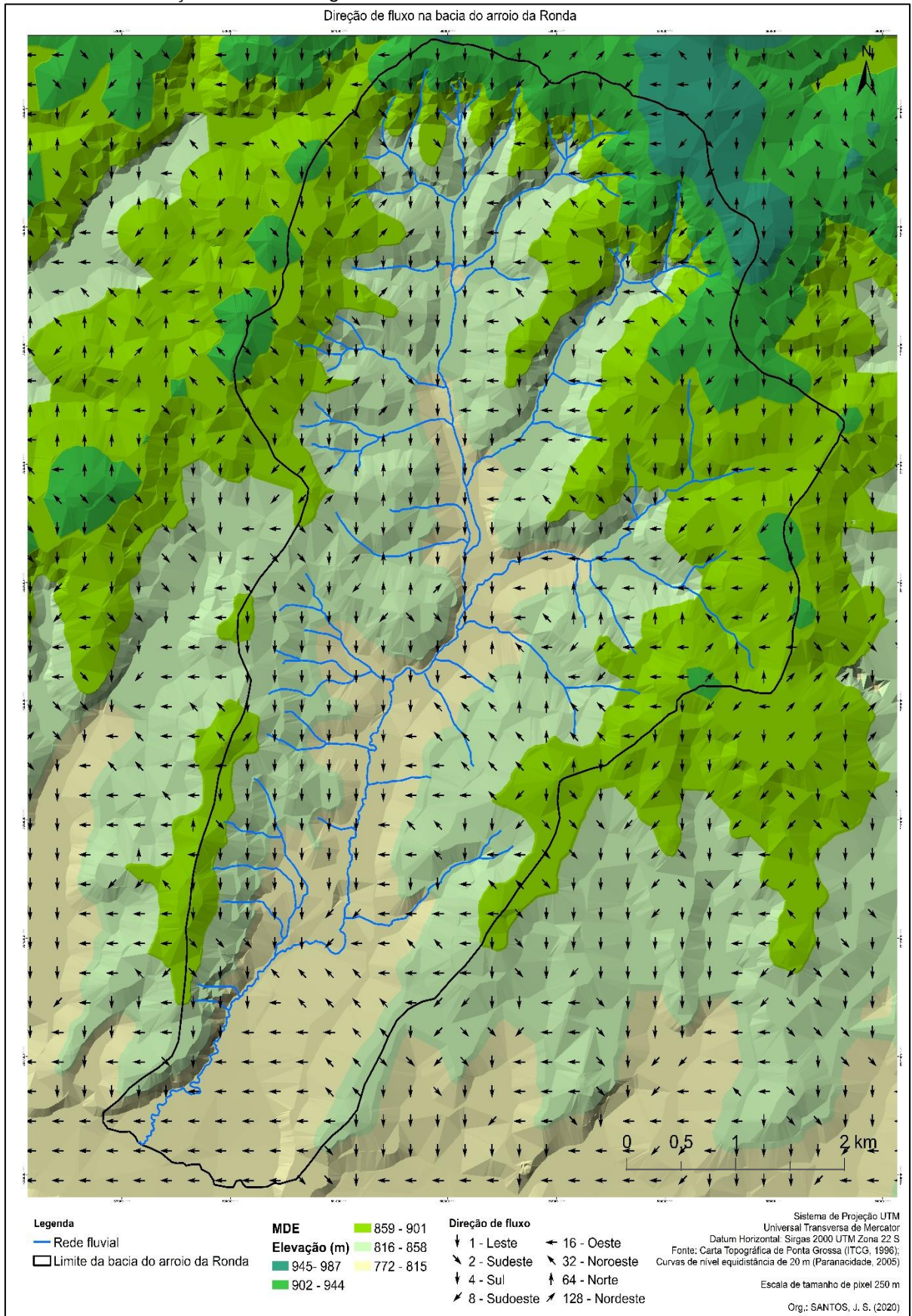
A partir dos dados de drenagem e de pavimentação das ruas foi possível realizar a correlação destes, isto é, das 322 ruas asfaltadas somente 40 não possuem sistema de captação de águas pluviais, pois apresentam apenas sarjetas. Há um total de 11 ruas com revestimento poliédrico sem sistema de drenagem e as ruas com cobertura de cascalho e de solo exposto totalizam respectivamente, 87 e 9 ruas sem sistema de drenagem. Nas ruas com pavimentação mista, o sistema de drenagem está ausente em 4 delas.

Em relação às curvas de nível foram observados que das 478 ruas 364 atravessam as curvas de nível e 114 não atravessam as curvas de nível. Esta informação torna-se relevante, pois segundo Mascaró (2003) “como regra geral, deve-se escolher a posição e direção de todas as ruas, de forma a ter declividade suficiente para escoar as águas da chuva. Para isso, obviamente, deverão ser posicionadas, cortando as curvas de nível” (MASCARÓ, 2003, p. 25). As águas pluviais e residuais quando escoam pelas vias sempre procuram pelo sentido de maior declividade, perpendicularmente as curvas de nível (MASCARÓ, 2003).

A partir das informações das ruas que cortam ou não as curvas de nível dos terrenos em que estão localizadas foram possíveis relacioná-las com o sistema de drenagem urbana de águas pluviais. Foram constatados que das 114 ruas que não cortam curvas de nível, isto é, são ruas construídas em terrenos planos, 47 ruas não possuem sistema de captação das águas pluviais.

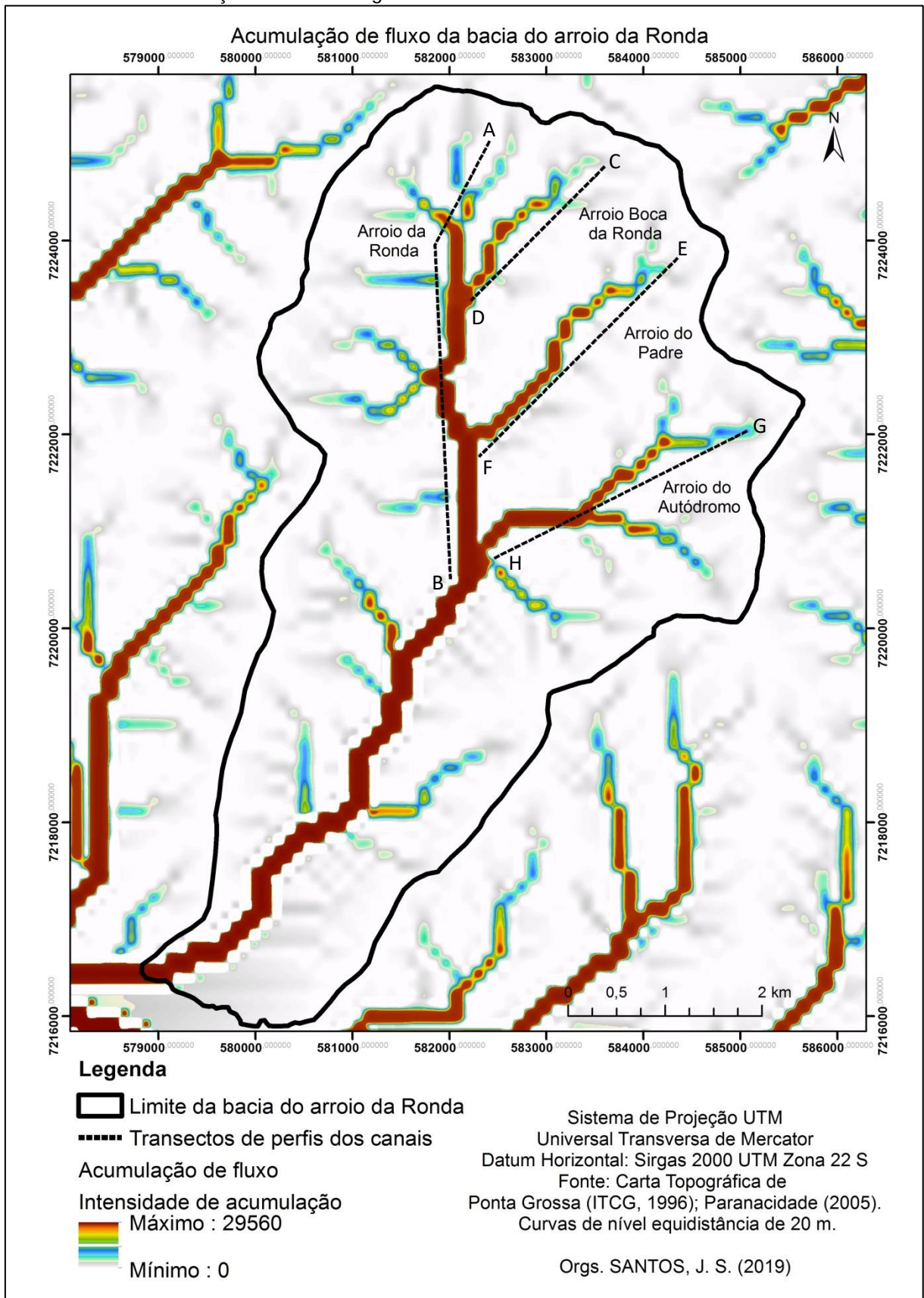
Esta informação contribui com a constatação de que as ruas construídas em locais planos e sem sistema de captação de águas pluviais possuem maior probabilidade de serem acometidas por episódios de alagamentos. Esta constatação também está relacionada com depressões existentes nos terrenos que dificultam o fluxo da água, favorecendo o seu acúmulo. As figuras 21A e 21B demonstram a direção e acumulação de fluxo na bacia em escala de 250m.

FIGURA 21A - Direção de fluxo da água na bacia do arroio da Ronda.



FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Carta topográfica de Ponta Grossa. 1996; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; A autora.

FIGURA 21B - Acumulação de fluxo da água na bacia do arroio da Ronda.

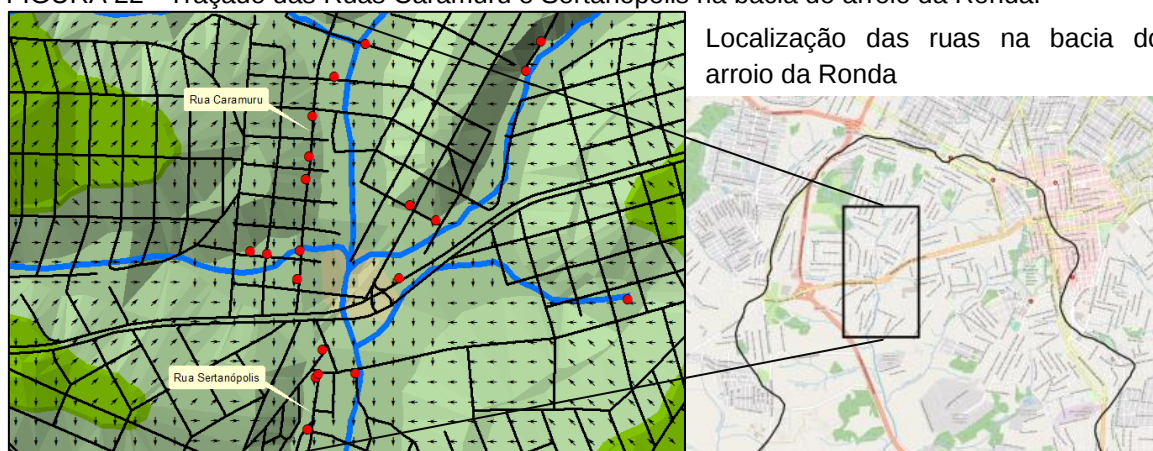


FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Carta topográfica de Ponta Grossa. 1996; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; A autora.

A figura 21A apresenta a direção do fluxo da água na bacia do arroio da Ronda, esta imagem salienta a conexão hidrológica entre os pontos de altimetria a partir do modelo digital de elevação, assim, estabelece a direção do escoamento superficial. Este direcionamento de fluxo é regido pela regra da maior declividade do terreno, o princípio primordial, neste caso, é a força gravitacional, a qual determina a direção do escoamento que sempre será para o ponto mais baixo.

A direção do escoamento possibilita verificar a tendência do mesmo, sendo que predominam os fluxos vindos das direções Sul, Leste e Oeste. Estas direções possibilitam avaliar quais regiões de fato influenciam nas áreas de alagamento na bacia. A figura 22 é um fragmento da área da bacia e demonstra a direção de fluxo em algumas ruas que registraram alagamentos e enchentes no período estudado, sendo as ruas Caramuru e Sertanópolis. A direção do escoamento nas duas ruas é sentido Sul e as referidas vias possuem a função de receber os fluxos de água, portanto há uma maior probabilidade da geração de escoamento superficial e prováveis alagamentos.

FIGURA 22 - Traçado das Ruas Caramuru e Sertanópolis na bacia do arroio da Ronda.

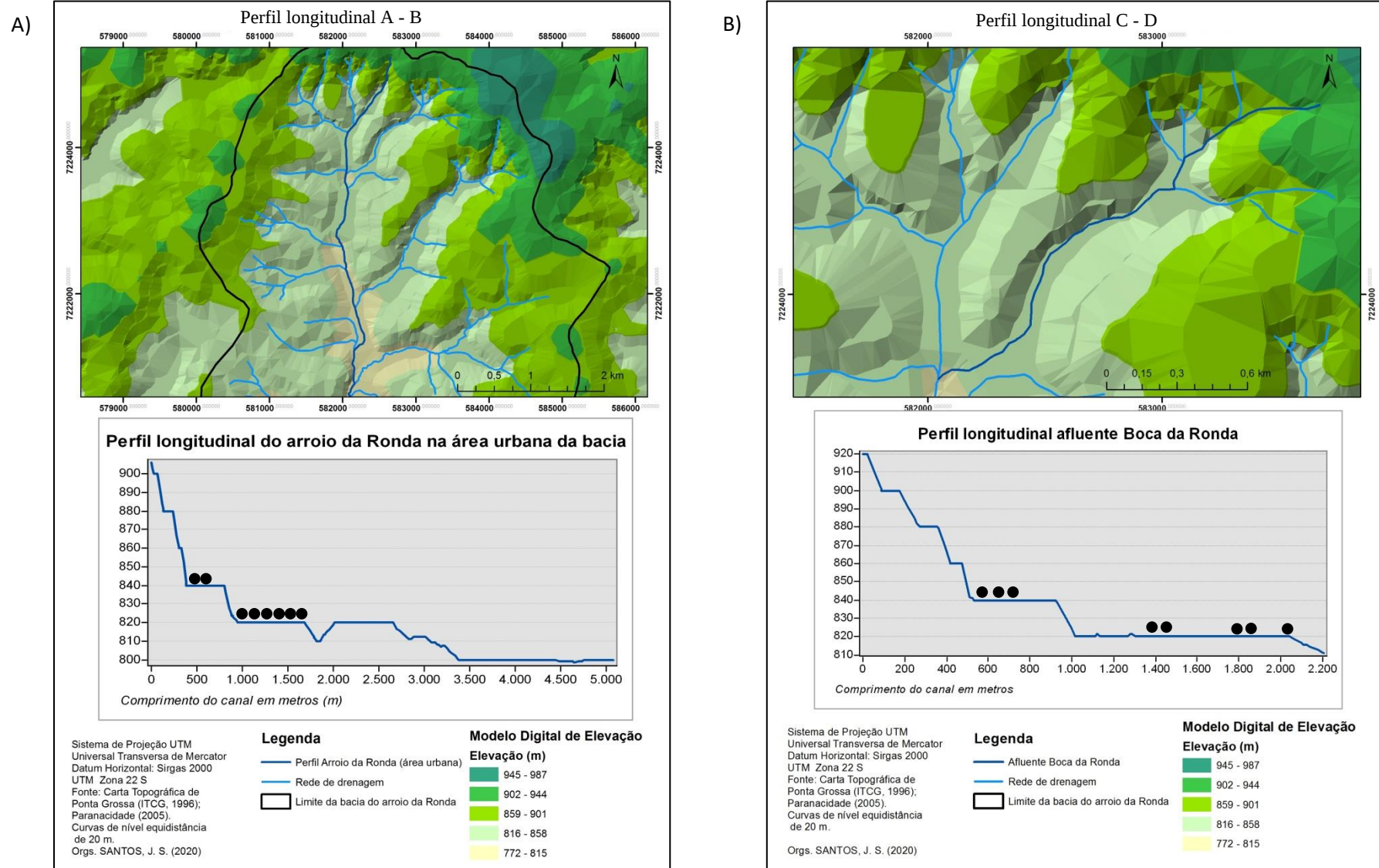


FONTE: INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE PONTA GROSSA. IPLAN Arruamento de Ponta Grossa, 2005; PARANACIDADE. Curvas de nível. 2005; A autora.

A acumulação de fluxo exposta na figura 21B demonstra que as áreas de maior declividade (cabeceiras da bacia) e nos canais de primeira ordem há um grande potencial para escoamento das águas e pouca acumulação de fluxo. Entretanto, as maiores concentrações de fluxo estão nos locais planos, alguns destes pertencentes à planície de inundação do arroio da Ronda, em canais de terceira e o canal de principal ordem.

Em relação aos perfis longitudinais dos canais selecionados e as ocorrências de enchentes e alagamentos situadas próximas a estes, estão respectivamente, apresentados nas figuras 23A, 23B, 23C e 23D.

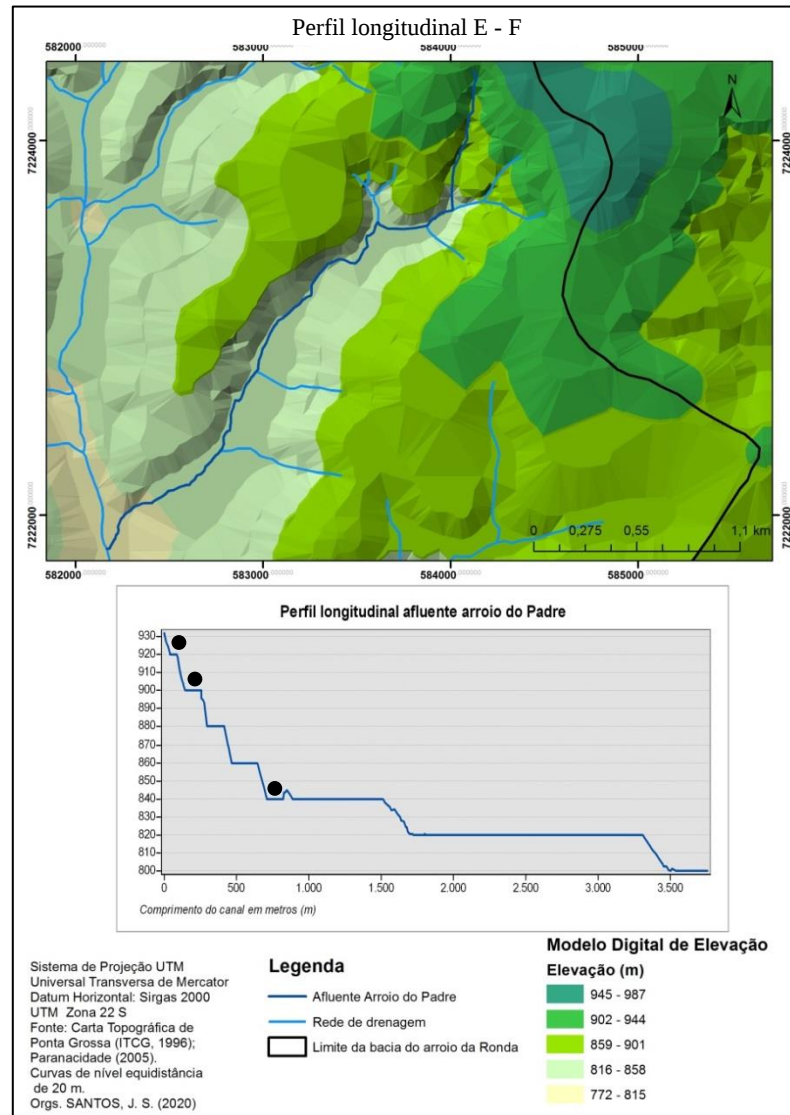
FIGURAS 23A e 23B - Perfis longitudinais: Arroio da Ronda na área urbana e afluente boca da Ronda.



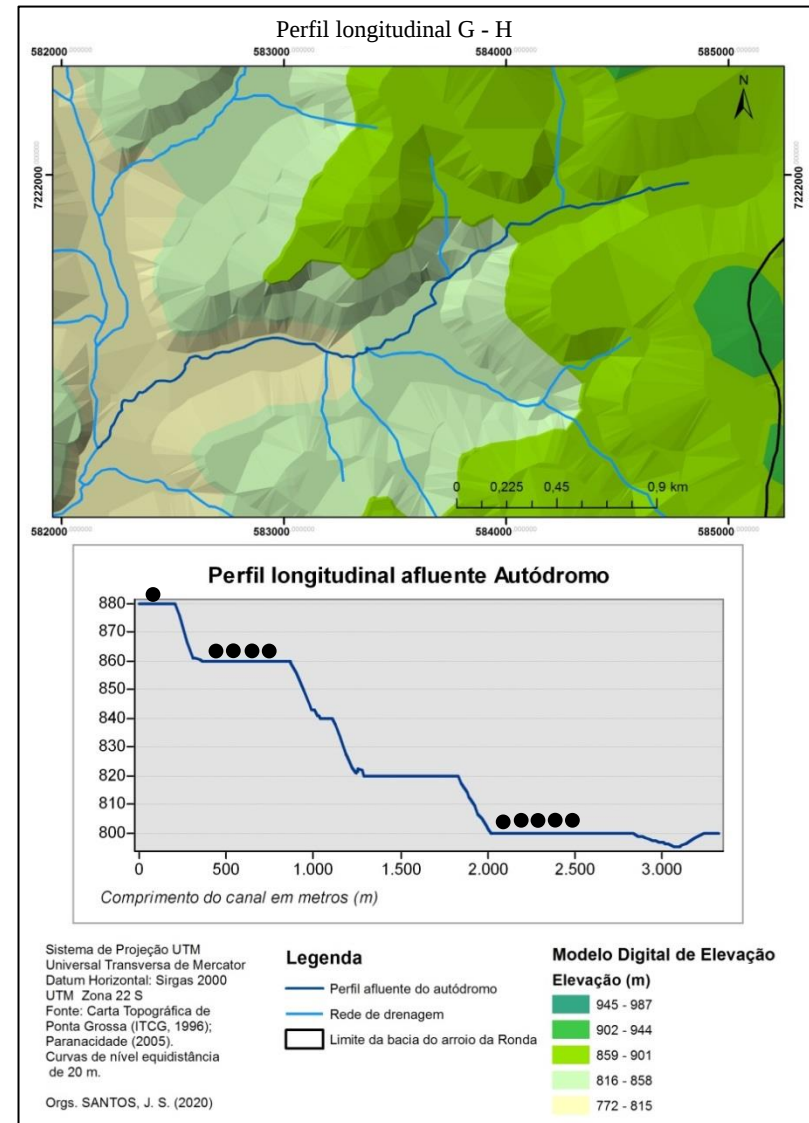
FONTE: PARANÁCIDADE. Curvas de nível de Ponta Grossa. 2005; A autora.

FIGURAS 23C e 23D - Perfis longitudinais: Afluente arroio do Padre e afluente do autódromo.

C)



D)



FONTE: PARANÁCIDADE. Curvas de nível de Ponta Grossa. 2005; A autora.

Os perfis longitudinais elaborados foram do arroio da Ronda pertencente a área urbana da bacia (23A), afluentes Boca da Ronda (23B), arroio do Padre (23C) e o afluente do autódromo (23D). É possível observar que os perfis possuem grande variação de altimetria, seguidas de extensas áreas planas. No perfil do arroio da Ronda, ocorre uma área de depressão natural variando de 820 para 810 metros de altitude, quando o arroio atinge quase dois quilômetros de extensão. Existem anomalias nos perfis, que segundo Fujita et al. (2011) podem estar relacionadas às mudanças litológicas, lineamentos do relevo, mas principalmente as diferenças na resistência litológica e controle estrutural, como por exemplo, as falhas e fraturas presentes nas áreas onde se situam os cursos de água (MINEROPAR, 2007).

Os perfis longitudinais dos cursos de água também influem sobre a velocidade de escoamento da água. Ou seja, os quatro perfis apresentam cursos de água de maior gradiente em suas nascentes, isto por sua vez poderá originar descargas com maior velocidade, pois poderá ocorrer menor concentração de tempo das águas nas áreas em questão. Esta informação é confirmada, quando analisadas algumas ocorrências de enchentes na área de estudo e apresentadas nas figuras 23 A, B, C e D, todas estas ocorrências estão situadas em áreas mais planas e distantes das cabeceiras do arroio.

O arroio da Ronda possui 12,33 km de extensão e amplitude altimétrica é de 180 metros entre o ponto considerado e a sua foz, sendo considerada uma área de 65% impermeável de acordo com o tamanho dos lotes na bacia. Assim, aplicando a equação 1 (TUCCI, 2005), tem-se, portanto, um tempo de concentração de 162 minutos ou 2 horas e 42 minutos. Portanto, o tempo de concentração corresponde ao tempo necessário para que a precipitação que atinge o ponto mais distante (nascente) chegue à seção de deságue. Neste caso, na bacia do arroio da Ronda, em uma dada precipitação que atinge as cabeceiras da bacia, possui um tempo de 162 minutos até atingir o seu exutório.

Foram calculados os tempos de concentração para os afluentes expostos nas figuras 23B, 23C e 23D e para o arroio da Ronda na área urbana da bacia (23A). O tempo de concentração possuem tempos diferenciados: o arroio da Ronda na área urbana possui 90 minutos; o arroio Boca da Ronda de 57 minutos, o arroio do Padre de 72 minutos; o arroio do Autódromo de 80 minutos. Segundo Driedrichs et al. (2009) o arroio do Padre contribui significativamente para o aumento da vazão do arroio da Ronda, na área urbana.

3.2. DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

A dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia do arroio da Ronda foi caracterizada pela análise de três períodos distintos, 1980, 2006 e 2014. As classes consideradas foram cidade, cultivos temporários diversificados, campo, vegetação nativa, parques municipais (unidades de conservação), áreas úmidas e ETE, reflorestamento, solo exposto, praças, BR-376 e mineração.

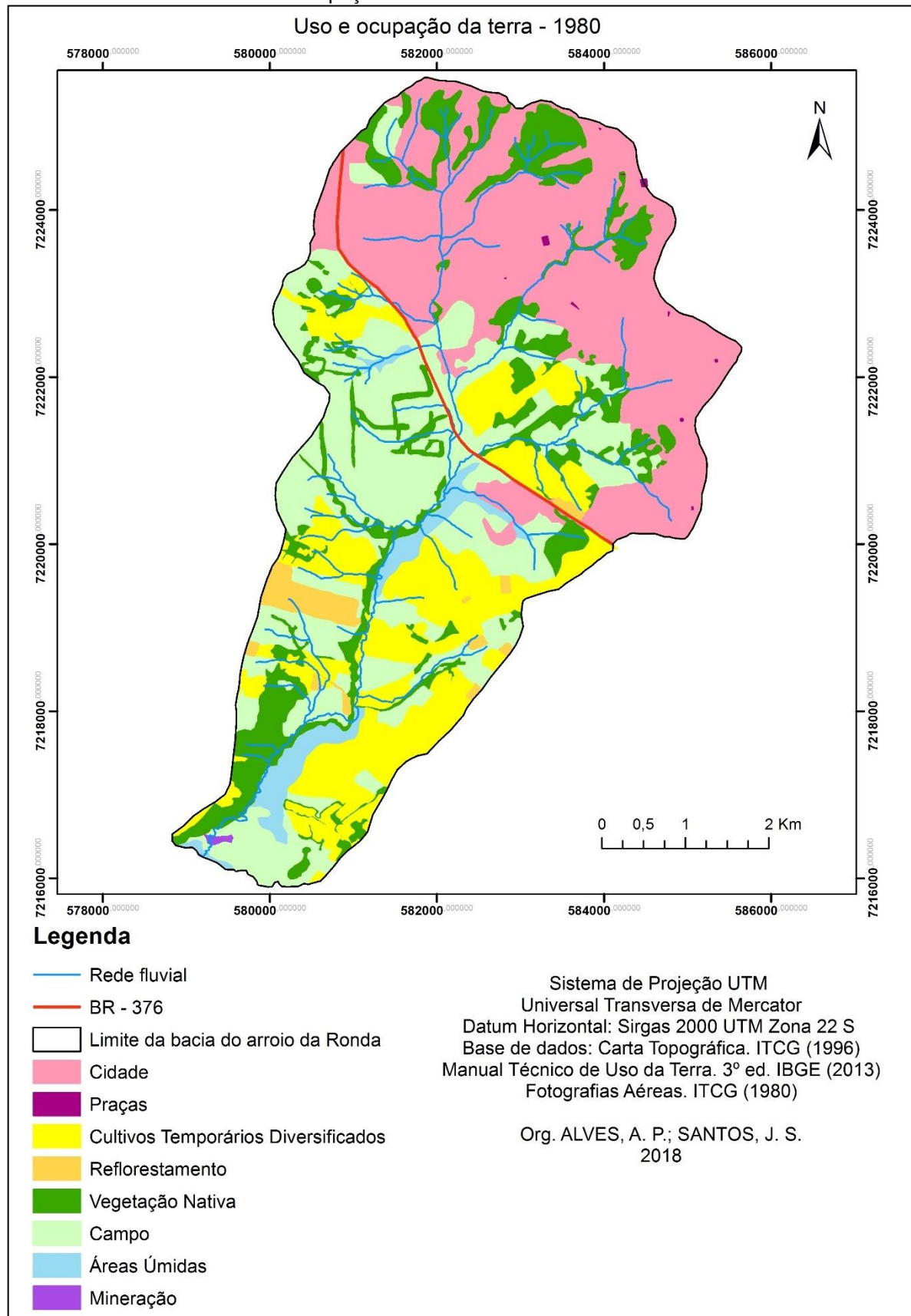
No período de 1980 (Figura 24) a classe que possuía maior área é a cidade abrangendo uma área de 10,91 km² na bacia, estando presente em 31,68 % de toda a área. Nesta classe foi considerado o perímetro urbano do município de Ponta Grossa (IPLAN, 2005), compreendendo os bairros Ronda, Vila Estrela, Contorno, Nova Rússia, Oficinas, Colônia Dona Luiza e pequena porção da área central.

Neste período a área urbana ainda se restringia desde o curso superior do arroio até a BR-376, ultrapassando este limite apenas à vila DER, nas proximidades do médio curso do arroio da Ronda. De acordo com Meneguzzo (2009) nesta época as margens do arroio começaram a ser ocupadas, em terrenos com solos pouco evoluídos, como os Organossolos e Gleissolos, assim como em terrenos com tendência a sofrer enchentes.

Segundo Gomes (2009) a zona oeste de Ponta Grossa passou por um processo de expansão da urbanização e consequente adensamento demográfico, sendo que a presença da nova rodoviária, no cruzamento com a Avenida Visconde de Taunay, marcou esta via como novo eixo de expansão da cidade. “A implantação de novas atividades na Avenida Visconde de Taunay contribuiu para o adensando populacional e para o aumento na importância do bairro Ronda, na zona oeste da cidade” (GOMES, 2009, p. 54).

As áreas de campo são a segunda maior classe em área na bacia do arroio da Ronda, com 10,36 km², representando 29,91% da área total. Nestas áreas de campo foi considerada toda e qualquer vegetação rasteira, seja nativa ou antropizada. Estão presentes em todas as porções da bacia, sendo mais expressivas nas porções Sudeste e Sudoeste, no médio e baixo curso, sendo que na porção Noroeste da bacia aparece uma pequena mancha de campo juntamente com uma mancha de mata nativa.

FIGURA 24 - Dinâmica do uso e ocupação do uso da terra na bacia do arroio da Ronda em 1980.



FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. ITCG. Fotografias aéreas, 1980; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Manual técnico de uso da terra. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013; ALVES, A. P.; SANTOS, J. S.

A terceira maior classe em área são os cultivos temporários diversificados, que incluem plantações agrícolas como aveia, trigo, soja e milho. Esta classe ocupava 17,29% da área estudada, representando uma área de 6,03km². Na área da bacia, estava presente em quase todas as porções da mesma, exceto nas porções Noroeste e Nordeste, onde existiam poucas manchas destes tipos de cultivos. Nas porções Sudeste e Sudoeste esta classe tornou-se mais expressiva, em virtude dessas áreas pertencerem à área rural do município de Ponta Grossa.

A classe de vegetação nativa incluía manchas de vegetação arbórea, abrangendo 5,11km², ou seja, 14,65% da área total. Neste período é possível verificar que as maiores manchas de matas nativas estão presentes na porção Nordeste e Noroeste da bacia, abrangendo as nascentes do arroio da Ronda. Ao longo do médio curso e baixo curso do arroio é possível verificar a presença de uma faixa de vegetação ripária, juntamente com as áreas úmidas.

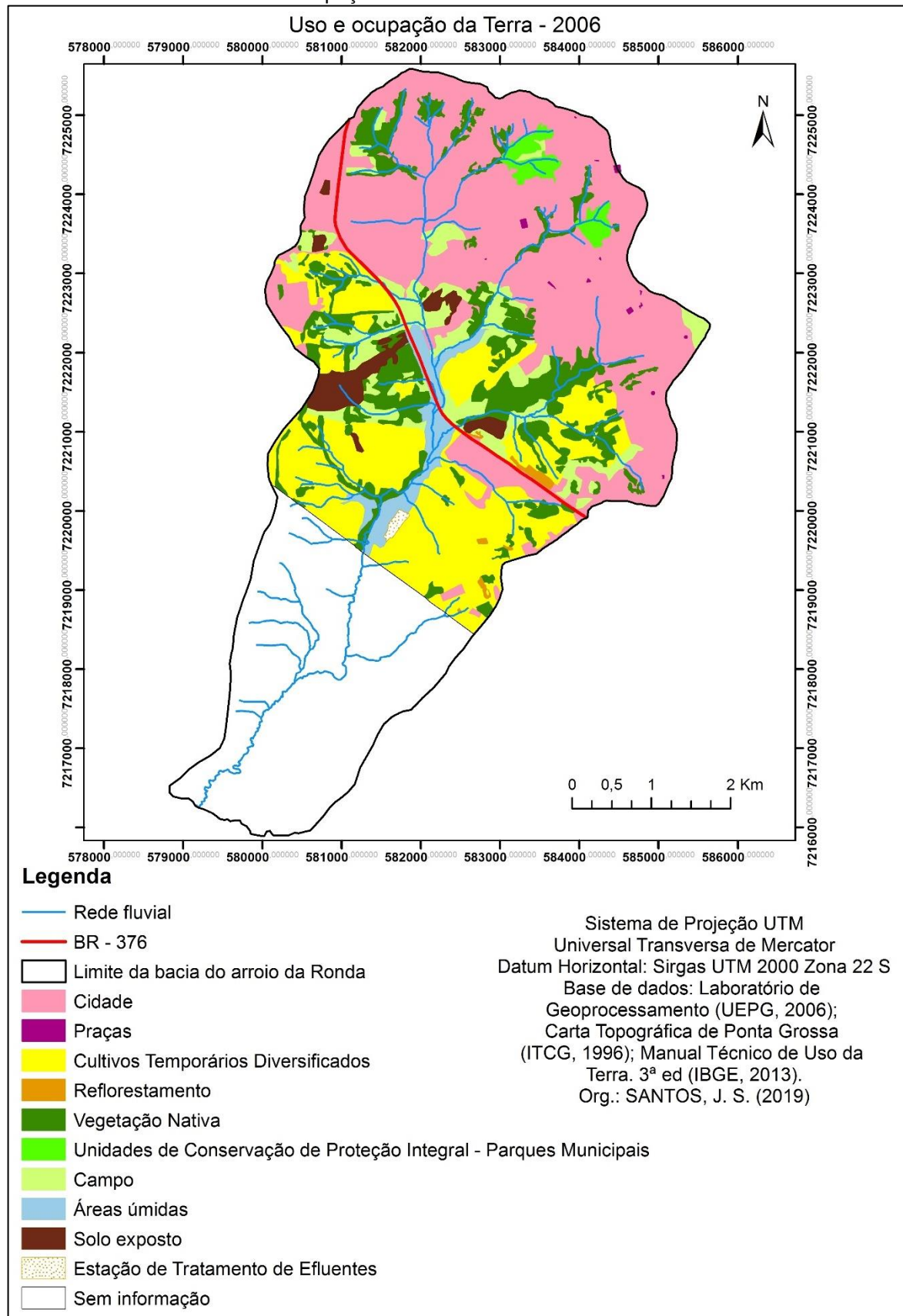
Os reflorestamentos compreendiam plantações de vegetação exótica, principalmente *Pinus* (*Pinus elliottii*) e Eucaliptos (*Eucalyptus grandis*). No período analisado esta classe encontrava-se principalmente na área rural do município, nas porções Sudeste e Sudoeste da bacia. A área de reflorestamento ocupava 0,7 km², compreendendo 2% da área total.

As áreas úmidas são locais que permanecem com o solo encharcado de água na grande maioria do tempo, sendo locais, por exemplo, que recebem o excedente de águas em épocas de cheias. Foram localizadas em locais próximos ao curso de água principal e na foz no rio Tibagi. Ocupavam uma área de 1,1 km² abrangendo um total de 3,1% da área total da bacia.

No período de 1980, existia a classe mineração, nas proximidades da foz do arroio da Ronda, porção Sudoeste. Segundo Meneguzzo (2009) esta classe refere-se à exploração de minerais não metálicos, ou seja, a extração de areia proveniente dos cursos de água. A área da mineração compreendia 0,02 km² ocupando um total de 0,5% do total da bacia.

A análise do uso e ocupação da terra da bacia do arroio da Ronda para o ano de 2006 é restringida apenas a área abrangida pela imagem QuickBird (Figura 25).

FIGURA 25 - Dinâmica do uso e ocupação do uso da terra na bacia do arroio da Ronda em 2006.



FONTE: LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO-UEPG. Imagem QuickBird, 2006; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Manual técnico de uso da terra. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013; A autora.

A imagem QuickBird abrange parte da área da bacia do arroio da Ronda situada no perímetro urbano e uma pequena parte da área rural da mesma bacia. Neste contexto, a imagem abrange 75,92 % da área total da bacia, ou 26,14 km² do total de 34,43 km². Neste período, a classe cidade apresentou 11,82 km² e 45,21% da área total. Em seguida estão à classe cultivos temporários diversificados com 6,37 km² e 23,94% da área total. Apesar de não abranger inteiramente a área da bacia, é possível notar que a área urbana ultrapassou os limites da BR-376, nas porções Noroeste e Sudeste.

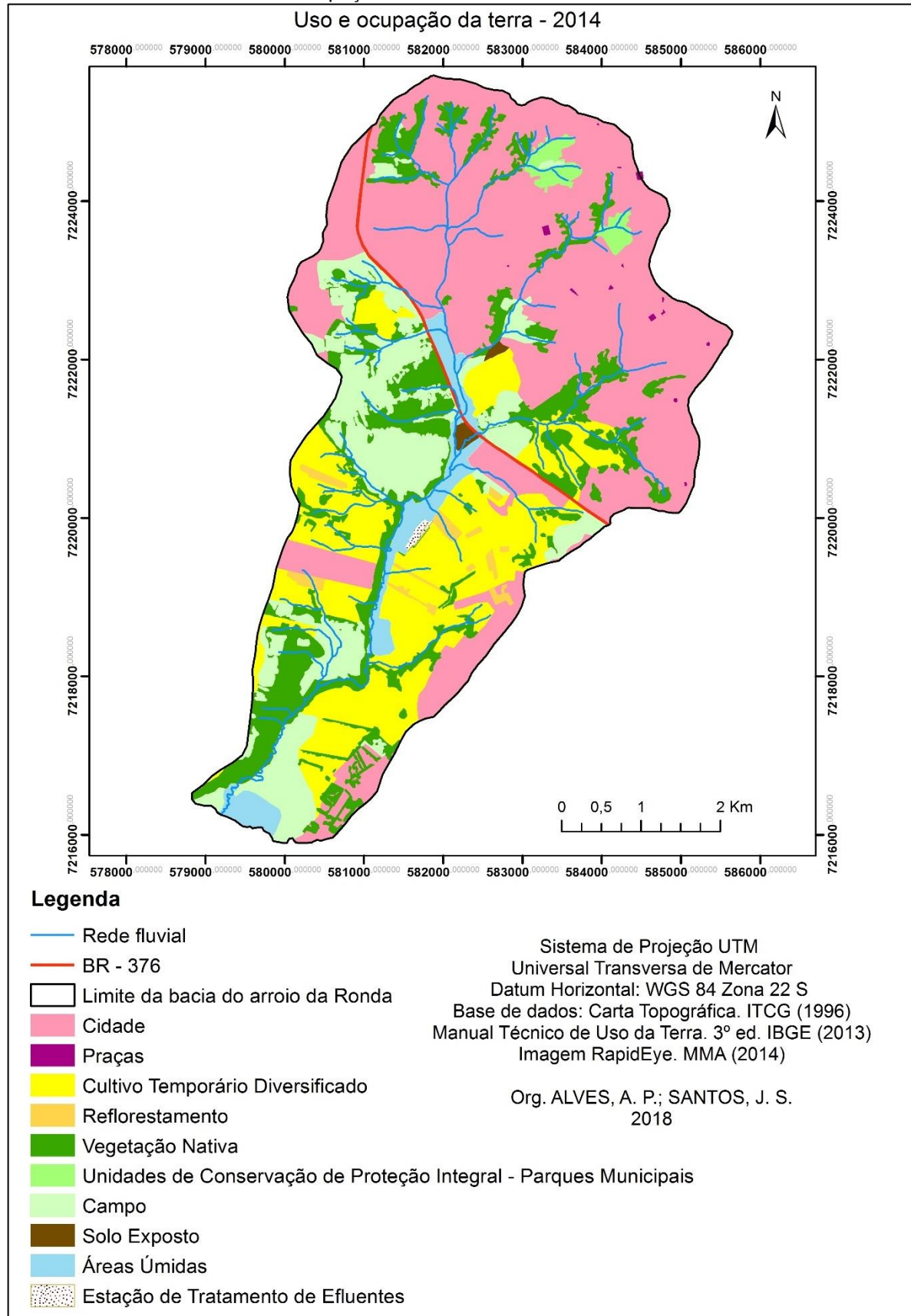
A classe vegetação nativa, representou as manchas de vegetação arbórea e mata nativa e também abrange os parques municipais Mata Boca da Ronda e Margherita Sanini Masini. A referida classe esteve presente em 4,16 km², isto é, em 15% da área analisada. É perceptível a redução das matas nativas na porção Norte da bacia, nas cabeceiras do arroio da Ronda, ou seja, onde existia vegetação nativa, esta foi substituída pela urbanização, ação esperada ao longo dos anos, pois a área possuía urbanização consolidada na década de 1980, assim a tendência de desmatamento foi se afirmando nas décadas seguintes.

A classe campo esteve presente em 2,46 km² e abrangiam 9,24% da área. As porções Sudeste e Sudoeste da bacia, que no período de 1980 eram marcadas por áreas de campo, em 2006 foram substituídas por áreas de cultivos temporários diversificados. As áreas úmidas ocupavam uma parcela de 0,78 km² na área, somando cerca de 2,94% da área e localizavam-se nas proximidades do curso principal do arroio da Ronda. Neste período foi possível identificar áreas úmidas paralelamente a BR-376, fato observado nesse período pela alta resolução espacial da imagem que possibilita melhor identificação se comparado com as fotografias aéreas do ano de 1980.

O reflorestamento estava presente em 0,09 km², abrangendo 0,33% da área da bacia. Esse valor menor, se comparado ao período anterior, está associado ao a imagem não abranger toda a área da bacia, pois esta classe estava presente em sua maioria, na área rural. Neste período foi possível identificar áreas de solo exposto, com 0,66 km² e presentes em 2,47% da área total.

Para o ano de 2014 (Figura 26), verificou-se que a malha urbana, no curso médio, expandiu-se ultrapassando a BR-376, chegando à porção Sudeste e Sudoeste da bacia do Arroio da Ronda.

FIGURA 26 - Dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia do arroio da Ronda em 2014.



FONTE: MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. MMA. Imagem RapidEye, 2014; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Manual técnico de uso da terra. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013; ALVES; SANTOS, 2018.

A área urbana é a classe mais expressiva em toda a bacia, possuindo uma área de 15,69 km², abrangendo 45,57% do total da área. Estava presente, principalmente na porção norte da bacia, onde se situam as cabeceiras do arroio da Ronda, também se estende no médio curso e baixo curso do arroio, principalmente em forma de loteamentos urbanos, conforme demonstrado às figuras 27A e 27B.

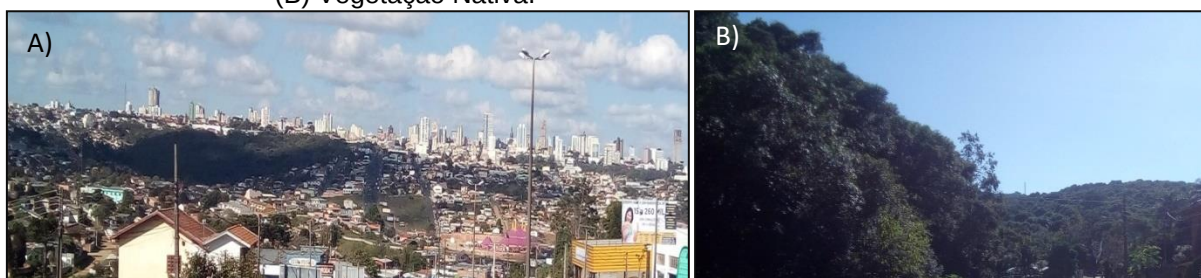
FIGURAS 27A e 27B - Classe cidade representada por áreas urbanizadas.



FONTE: A autora.

A vegetação nativa (Figuras 28A e 28B) estava distribuída por toda a bacia em pequenas manchas de matas, principalmente nas nascentes do arroio na porção Nordeste da bacia, compreendendo uma área de 6,14 km², abrangendo 17,61 % da área total da bacia. Estavam presentes também na porção Sudoeste da bacia em direção à foz do arroio da Ronda.

FIGURAS 28A e 28B - (A) Unidade de Conservação Parque Mata Boca da Ronda.
(B) Vegetação Nativa.



FONTE: A autora.

As áreas de mata nativa nas cabeceiras diminuíram em relação ao período de 1980, apesar de no ano de 1992 serem criados sete Parques Municipais, através da Lei nº 4.832 (ARNAUD, 2013), dentre eles o Parque Municipal Mata Boca da Ronda e o Parque Municipal Margherita Sannini Masini, com remanescentes da Floresta Ombrófila Mista. Esse tipo de floresta foi muito devastada para fomentar a economia e expansão urbana do município de Ponta Grossa (ARNAUD, 2013).

Segundo Takeda et al. (2001) a área de mata nativa que compreende ao Parque Mata Boca da Ronda é um remanescente de associação de Floresta

Ombrófila Mista com capoeira que sobreviveu e se desenvolveu após o término da exploração de madeira para lenha.

No curso médio do arroio da Ronda, observou-se um aumento da vegetação nativa, nas proximidades da BR-376. A explicação pode estar associada a um maior rigor em relação ao cumprimento das legislações ambientais, especificamente o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.65/2012), que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.

Nas porções Sudeste e Sudoeste da bacia houve o aumento do cultivo temporário diversificado e diminuição das áreas de campo. As áreas de campos (Figuras 29A e 29B) representavam 4,33 km² do total da área da bacia. Na década de 1980 locais que eram ocupados por campos foram substituídos, principalmente por cultivos temporários diversificados e loteamentos urbanos.

FIGURAS 29A e 29B - Áreas de vegetação de campo na bacia do arroio da Ronda.



FONTE: A autora.

Os cultivos temporários diversificados (Figura 30) possuíam 7,05 km² de área na bacia, sendo a segunda maior classe verificada neste período, abrangendo 20% do total. Classe expressiva em toda porção Sul, como na porção Sudeste e Sudoeste da bacia, que compreende principalmente a área rural do município de Ponta Grossa. Quando comparada esta classe com o período de 1980, verificou-se que a mesma possui uma pequena redução de sua área, em cerca de 1 km², assim, as áreas de cultivos foram transformadas em áreas de campo ou em área urbanizada.

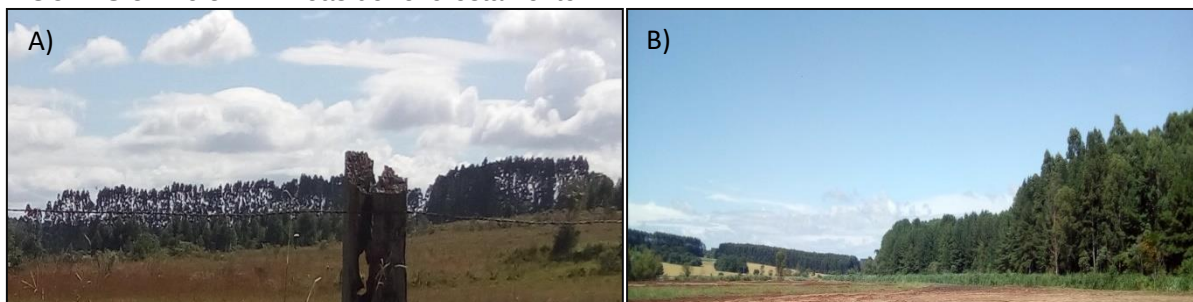
FIGURA 30 - Áreas de cultivos temporários diversificados



FONTE: A autora.

As áreas com reflorestamento (Figura 31A e 31B) representaram 0,34 km² da área total da bacia ou estavam presentes em apenas 0,97% da área. No período de 2014, esta classe diminuiu em quase metade a sua área total se comparado ao período de 1980, isso decorre, pela substituição de áreas de reflorestamento por loteamentos urbanos. Uma grande área que na década de 1980 era ocupada por plantações de vegetação exótica, atualmente transformou-se em área urbanizada, representada pela vila Gralha Azul, no bairro Contorno.

FIGURAS 31A e 31B - Áreas de reflorestamento.



FONTE: A autora.

As áreas úmidas permaneceram com quase a mesma área do período de 1980, com 1,14 km² ou 3,27% da área total da bacia. Assim como no período de 2006, também é possível notar uma área úmida paralela a BR-376, o que não foi possível verificar em 1980. A Estação de Tratamento de Efluentes - Ronda, construída em 1989, foi considerada nesta classificação, pois é um tipo diversificado de uso da terra, ocupando cerca de 0,05 km² ou 0,19% da área.

Em relação ao solo exposto (Figura 32), esta classe teve uma diminuição de área, possuindo apenas uma pequena área na porção do médio curso do arroio da Ronda, com 0,09 km². No período de 2006 foi possível verificar vários locais com

solo exposto, que atualmente correspondem às áreas de campo e cidade, nas porções Noroeste e Nordeste da bacia.

FIGURA 32 - Área de solo exposto (expansão urbana) na bacia.



FONTE: A autora.

A partir da classificação do uso da terra dos três períodos foi possível realizar a comparação destas classes, a tabela 1 e a figura 33, mostram que as classes mais expressivas em área e em porcentagem de abrangência na bacia foram o campo, cidade, cultivos temporários diversificados e vegetação nativa.

TABELA 1 - Uso da terra na bacia do Arroio da Ronda entre 1980, 2006 e 2014

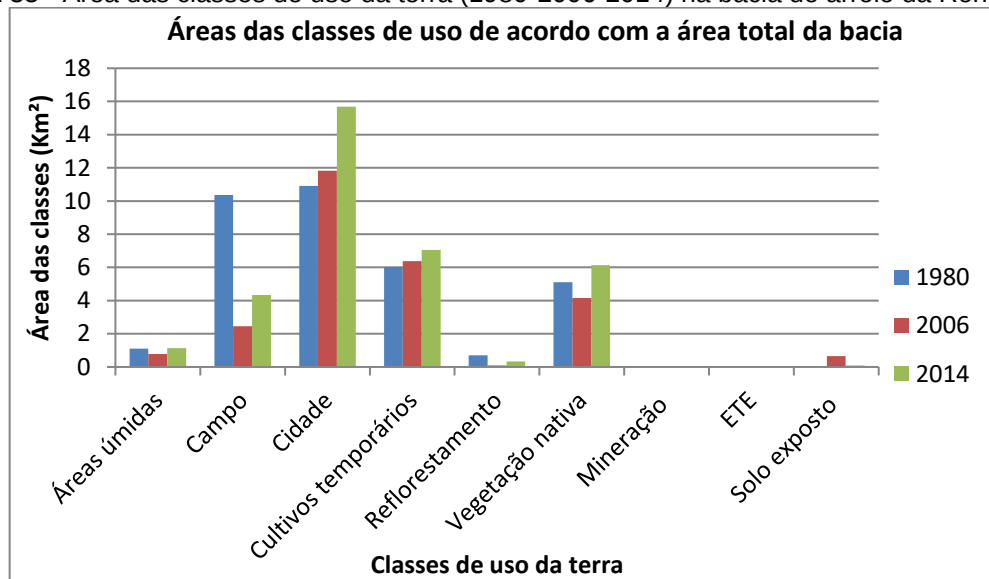
Classes de uso	1980	1980	2006(*)	2006(*)	2014	2014
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Áreas úmidas	1,1	3,1	0,78	2,94	1,14	3,27
Campo	10,36	29,91	2,46	9,24	4,33	12,28
Cidade	10,91	31,68	11,82	45,21	15,69	45,57
Cultivos temporários	6,03	17,29	6,37	23,94	7,05	20,22
Reflorestamento	0,7	2,0	0,09	0,33	0,34	0,97
Vegetação nativa	5,11	14,65	4,16	15	6,14	17,61
Mineração	0,02	0,5	0	0	0	0
ETE	0	0	0,05	0,19	0,05	0,19
Solo exposto	0	0	0,66	2,47	0,09	0,25

FONTE: A autora.

NOTA: (*) Para o ano de 2006 foram consideradas a área e porcentagem das classes de uso da terra apenas da área coberta pela imagem QuickBird.

É perceptível a diminuição das áreas de campo em 2014 se comparado ao ano de 1980, estas áreas foram suprimidas para a construção de loteamentos ou para cultivos diversificados. Nas classes cidade, cultivos temporários diversificados e vegetação nativa houve um aumento crescente de área se comparado com o ano de 1980. A figura 33 apresenta a área das classes de uso de cada ano analisado.

FIGURA 33 - Área das classes de uso da terra (1980-2006-2014) na bacia do arroio da Ronda.



FONTE: A autora.

NOTA: (*) Para o ano de 2006 foram consideradas a área e porcentagem das classes de uso da terra apenas da área coberta pela imagem QuickBird.

O mapeamento realizado pôde demonstrar uma cobertura diversificada na área de estudo, tanto para o ano de 1980 com 8 classes, quanto para os anos de 2006 e 2014 com 10 classes. O aumento da área urbana é expressivo no ano de 2014, estando presente em todas as porções da bacia do arroio da Ronda. Um aumento no médio curso do arroio foi para a classe de vegetação nativa e a classe do cultivo temporário diversificado. Embora tenha ocorrido à criação de dois parques municipais nestas áreas, na década de 1990, houve a diminuição da mata nativa no alto curso do arroio, onde estão as suas nascentes.

Outro aspecto observado foi em relação à expansão urbana, pois até 1980 a BR-376 configurava-se como um limitador, porém nos anos de 2006 e 2014 observa-se uma expansão para além da BR, pois a ocupação urbana já estava presente no baixo curso do arroio em direção a sua foz, como apresentado na figura 26.

Analisar a dinâmica do uso e ocupação da terra da área estudada é de fundamental importância, pois muitas vezes as classes de usos representam atividades humanas que podem estar impactando o meio ambiente. Neste caso, há o aumento das áreas impermeabilizadas, que dentre as consequências, possibilita aumento do escoamento superficial, auxiliando, por exemplo, no acúmulo de água formando alagamentos.

3.3. CURVE NUMBER (CN)

O valor de CN foi estabelecido para os três períodos, 1980, 2006 e 2014, a partir das combinações de tipos de solos, uso e ocupação da terra e umidade antecedente dos solos (condição II). Para que a atribuição do valor de CN fosse possível, foram considerados alguns procedimentos, seguindo o quadro 3, que considera os valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo:

- Para a classe de cultivos temporários diversificados foram considerados: culturas de grãos em linha reta e em boas condições;

- Para a classe de vegetação nativa/parques municipais foram considerados: florestas em condições médias;

- A classe mineração e solo exposto foram incluídas na classificação de terrenos preparados para o plantio, descoberto. Apesar das características de solo exposto e mineração envolverem outros fatores que influenciam diretamente na compactação e mudanças nos solos, esta foi a categoria que considerou o solo descoberto ou exposto.

- Uso residencial/cidades foram considerados os lotes de até 500m² com área impermeável de até 65%. Tal inclusão foi considerada baseada na lei de zoneamento de uso e ocupação do solo das áreas urbanas do município de Ponta Grossa (PONTA GROSSA, 1999).

- A área da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) foi inserida na categoria de área úmida, pelo fato da área da ETE estar situada em área úmida do arroio da Ronda.

Seguindo estes pressupostos foram encontradas 27 combinações de tipos solos e usos da terra para 1980 e para 2006 e 25 combinações para 2014. Portanto, 27 valores de CN para 1980, 27 para 2006 e 25 para 2014.

Após calcular o valor de CN para cada combinação, foi possível identificar os valores de escoamento superficial em milímetros (Q) e de potencial de armazenamento de água no solo em milímetros (S) para todos os períodos seguindo a aplicação das equações 3 e 4 expostas nos procedimentos metodológicos.

Os valores de Q e S somente foram possíveis de serem encontrados estabelecendo-se um valor de precipitação, desta forma, foi realizada a média da precipitação mensal dos anos de 1980, 2006 e 2014. Para o ano de 1980 a

precipitação média mensal foi de 137, 8 mm, para 2006 foi de 96,51 mm e para 2014 a média mensal de 158, 22 mm.

Desta forma, para melhor visualização dos dados de CN e de escoamento superficial foram gerados dois mapas para cada período, sendo que as figuras 34A, 34B, 34C representam o CN de 1980, 2006 e 2014 e as figuras 34D, 34E e 34F representam o potencial máximo de geração de escoamento superficial dos respectivos anos.

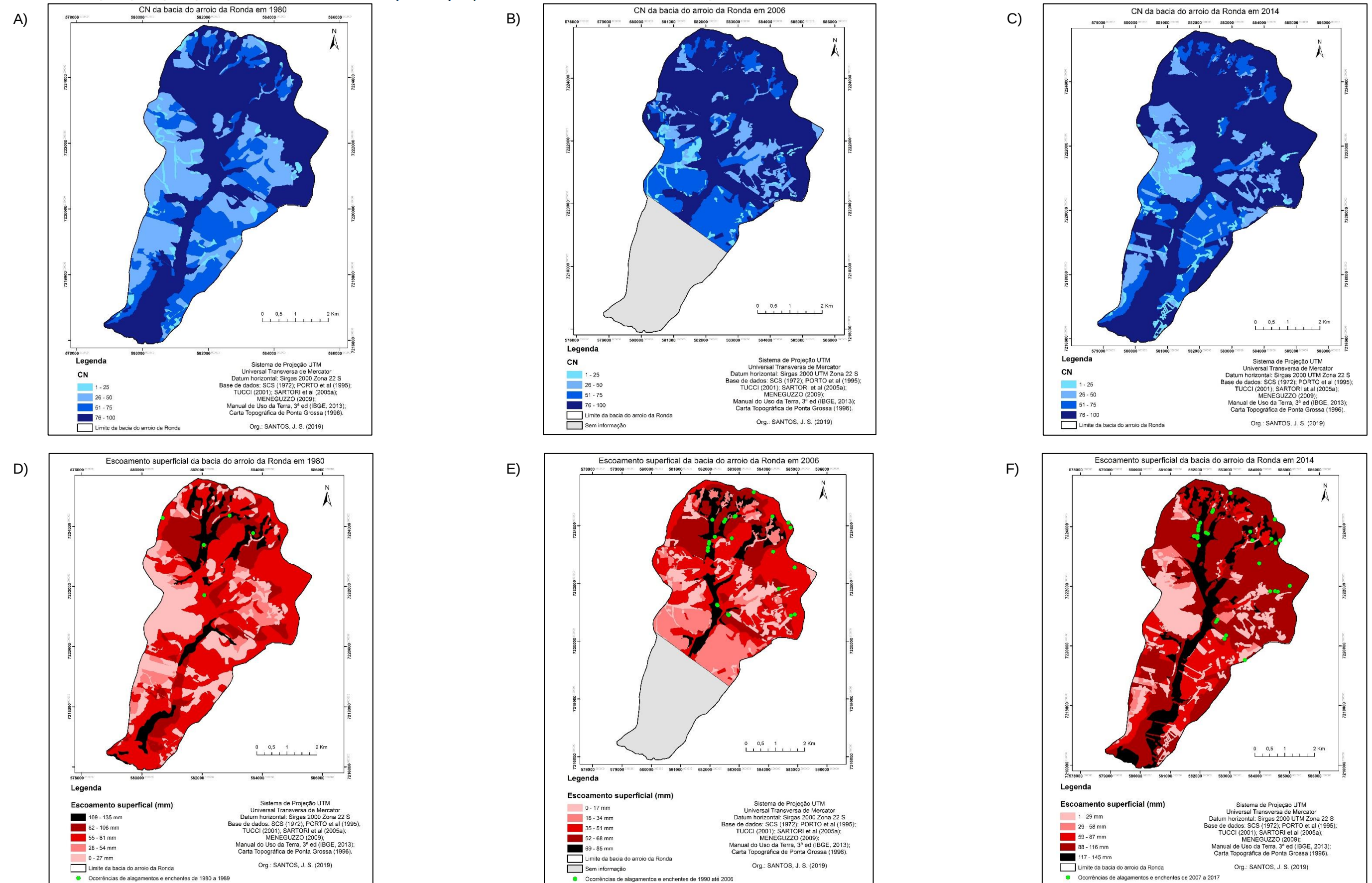
Em 1980 as áreas de cultivos temporários diversificados apareceram em todos os tipos de solos presentes na bacia, o que resultou em um valor de CN que variou entre 63 e 84 e com uma precipitação de 137, 98 mm no ano de 1980, produziu-se um escoamento superficial que variou entre 45, 4 mm a 101 mm.

As áreas de campo com capões de vegetação nativa apresentaram baixos valores de CN e consequentemente baixos índices de escoamento, como ocorre no limite da porção Oeste da bacia, nas proximidades do médio curso do arroio da Ronda. Nestes locais o valor de escoamento gerado é de 0,6 mm. Nas demais áreas de campo o CN variou entre 50 a 78 e o escoamento de 22 mm a 78 mm.

As áreas úmidas são classes que apresentaram maiores valores de CN, ou seja, 95. Estas áreas apresentaram maiores valores de escoamento superficial, com 123 mm, pois são áreas que possuem grande potencial para armazenamento de água no solo por períodos prolongados tornando estes úmidos por longos períodos e consequentemente poderá haver a rápida saturação do solo ocasionando o escoamento superficial.

Estas são áreas “episodicamente ou periodicamente inundadas por águas rasas ou com solos encharcados e pelo transbordamento lateral de rios ou lagos e/ou pela precipitação direta ou pelo afloramento do lençol freático” (JUNK et al., 1989, p. 112; JUNK et al., 2015, p. 23).

FIGURAS 34A, 34B, 34C, 34D, 34E, 34F - CN e escoamento superficial (mm) na bacia do arroio da Ronda em 1980, 2006 e 2014.



FONTE: A autora.

As áreas pertencentes a classe reflorestamento revelaram valores baixos a médios de CN e valores baixos a médios de escoamento, sendo 0mm a 66mm. O baixo valor de CN para esta classe de uso e tipo de solo faz com que o solo possua um alto potencial de armazenamento fazendo com que o deflúvio se anule. Segundo Sato (2008) o escoamento superficial é praticamente inexistente nos plantios de eucaliptos, pois a serrapilheira possui a característica de regular os processos hidrológicos superficiais nos plantios deste tipo de vegetação exótica, portanto, ocorre a redução do escoamento superficial e consequentemente haverá o aumento da infiltração da água no solo (SATO, 2008).

Os valores de CN para as áreas de vegetação nativa estão entre 25 a 77, representando, respectivamente um potencial baixíssimo e alto escoamento superficial. Isto pode ser observado nos capões de mata localizados nas cabeceiras do arroio da Ronda, uma mesma área de mata apresentou valores diferentes e extremos de CN e escoamento, isto decorreu principalmente da diferenciação entre os tipos de solos da área de mata, sendo os baixos valores de CN em Latossolos e os maiores valores nas associações de Gleissolos e Organossolos.

As áreas urbanizadas foram secundariamente os locais que apresentaram os maiores valores de escoamento superficial e de CN (77 a 92), com escoamento de 75 a 111 mm. Confirma-se assim a lógica de que áreas urbanizadas possuem maior porcentagem de áreas impermeabilizadas, sendo que nos locais pavimentados o escoamento é elevado e consequentemente o armazenamento de água no solo será menor.

O ano de 2006 apresentou um aumento das áreas urbanizadas e consequentemente um aumento do escoamento superficial na porção norte da bacia, pois houve o desmatamento das áreas de mata para construção de moradias. Da mesma forma, no ano de 1980, as áreas com os maiores valores de CN e escoamento estão situadas na porção Norte, principalmente a porção Noroeste. Nestes locais a área urbanizada predomina, seguida pelos cultivos temporários diversificados, portanto, o CN variou entre 77 a 92, e o escoamento entre 41 a 73 mm.

Na porção Noroeste da bacia, próximo da BR-376, houve aumento das áreas de solo exposto, o que ocasionou ampliação do CN, em relação ao ano de 1980, e consequentemente um escoamento superficial maior, pois a vegetação torna-se escassa nestas áreas.

Para o ano de 2014 houve nitidamente o aumento da área urbanizada na porção Sudeste da bacia e isto fez com que o escoamento superficial da área aumentasse. Nesta porção o valor de CN é 77 e o escoamento superficial de 93 mm. O aumento não foi observado considerando o escoamento superficial, mas sim pelo uso da terra, pois na década de 1980 a área era predominantemente marcada por cultivos temporários diversificados.

A vegetação nativa da região Noroeste da bacia diminuiu significativamente entre 1980 e 2014, pelo desmatamento para a construção de moradias e pelo aumento populacional da área, que traz uma maior impermeabilização pelas edificações, o que produz um maior escoamento superficial quando ocorrem altos índices pluviométricos. Nesta área o escoamento superficial variou de 93 mm a 134 mm e os valores de CN de 77 a 93.

Em contrapartida na área de divisa da porção Noroeste e Sudoeste da bacia no curso médio do arroio da Ronda, foi possível verificar o aumento da vegetação nativa, que concomitantemente a presença de solos como o Latossolo e o Cambissolo, proporcionou a manutenção de baixos valores de CN e de escoamento superficial. Nestes locais o CN variou de 25 a 47 em áreas de mata, com escoamento superficial de 26 mm e em áreas de campo o CN variou de 25 a 50, com escoamento de 31mm.

Na década de 1980 foi verificado que das 5 ocorrências registradas, 3 foram registradas em 1983 em área de campo e vegetação nativa. Esta informação demonstra que no ano de 1980 (o qual é utilizado como base para o mapeamento do uso e ocupação do solo), estas áreas não estavam ocupadas pela população. No entanto, pouco tempo após o registro das fotografias aéreas de 1980, as áreas de vegetação nativa e campo foram transformados em novos loteamentos, conforme registros das ocorrências (Anexo A).

Na década de 1990 somente duas ocorrências não se situaram na classe cidade, mas na classe campo com associações dos solos Organossolos e Gleissolos. Quando observada a localização das mesmas, nota-se que estas ocorrências estão situadas em uma parte do trajeto da BR-376. Esta área, além pertencer à planície de inundação do arroio da Ronda, possui baixa declividade e área impermeabilizada pelo revestimento asfáltico da BR-376. Todas estas características agravaram e possibilitaram estas enchentes. Estas duas ocorrências

foram registradas no ano de 1998 nos meses de março e julho, com um volume de precipitação diária de respectivamente 204 mm e 40 mm.

Além de a área ser propensa a ocorrência de enchentes como citado anteriormente, existiu o agravamento pela precipitação, a primeira ocorrência possui um elevado índice de precipitação em um único dia. Entretanto, na segunda ocorrência o volume de precipitação é considerado mediano, porém uma hipótese a ser considerada neste caso, é a intensidade da precipitação que pode ter sido o fator preponderante para a ocorrência desta enchente, com um alto volume de precipitação em um curto período de tempo.

Considerando a lista de ocorrências de alagamentos e enchentes, foram destacadas 15 ocorrências, por estarem localizadas em áreas onde houve a mudança da classe de uso da terra em relação a 1980 (Quadro 7).

- a) Quatro ocorrências em área de vegetação nativa, especificamente duas ocorrências situadas em área de vegetação ripária, outra em área de vegetação pertencente ao Parque Municipal Margherita Sanini Masini todas na porção Nordeste da bacia. Uma ocorrência situada na porção Noroeste da bacia.
- b) Dez ocorrências em área de campo, sendo nove na porção Sudeste da bacia uma na porção Noroeste.
- c) Uma ocorrência em área de cultivo temporário diversificado na porção Sudeste da bacia.

O quadro 7 tem por objetivo identificar as modificações do uso da terra a partir do ano de 1980, demonstrando que algumas áreas foram suprimidas pela urbanização, como a vegetação nativa e os campos, contribuindo para os registros posteriores de ocorrências de enchentes e alagamentos.

É possível observar que houve o aumento dos valores de CN e quando utilizada a média histórica de precipitação da área (1655,29 mm) observa-se um aumento no potencial de geração de escoamento superficial. Ou seja, com a alteração do uso da terra, houve o aumento das áreas impermeabilizadas e consequente aumento dos valores de CN e de escoamento superficial.

Quadro 7 - Modificação do uso da terra (1980-2014) e a localização das ocorrências de alagamentos e enchentes das décadas de 1990, 2000 e 2010 que se situaram em área não urbanizadas no mapeamento de 1980.

Oc.	Ano	Tipo de solo	Precipitação (mm) - Total diário	Precipitação (mm) - Média histórica	Uso da terra em 1980	CN	Q(*) (mm)	Uso da terra em 2014	CN	Q(*) (mm)
1	1983	Cambi. e Neos.	144,9	1655,29	Vegetação nativa	73	1650,5	Cidade	91	1653,8
2	1983	Organos. e Gleis.	26,5	1655,29	Campo	78	1651,6	Cidade	92	1653,9
3	1983	Organos. e Gleis.	26,5	1655,29	Vegetação nativa	77	1651,4	Cidade	92	1653,9
4	1996	Latos. e Cambis.	23,2	1655,29	Campo	50	1643	Cidade	83	1652,5
5	1996	Latos. e Cambis.	112,5	1655,29	Campo	50	1643	Cidade	83	1652,5
6	1998	Organos. e Gleis.	204,2	1655,29	Campo	78	1651,6	Cidade	92	1653,9
7	1998	Organos. e Gleis.	40,6	1655,29	Campo	78	1651,6	Cidade	92	1653,9
8	2008	Latos. e Cambis.	31,8	1655,29	Vegetação Nativa	47	1641,5	Cidade	83	1652,5
9	2009	Cambi. e Neos.	83,8	1655,29	Vegetação Nativa	73	1650,5	Cidade	91	1653,8
10	2009	Latossolo	75,5	1655,29	Campo	30	1627,3	Cidade	77	1651,4
11	2009	Latossolo	29	1655,29	Cultivos	63	1647,9	Cidade	77	1651,4
12	2009	Latos. e Cambis.	79,9	1655,29	Campo	50	1643	Cidade	83	1652,5
13	2011	Latossolo	89,2	1655,29	Campo	30	1627,3	Cidade	77	1651,4
14	2016	Latos. e Cambis.	48,9	1655,29	Campo	50	1643	Cidade	83	1652,5
15	2017	Latos. e Cambis.	125,5	1655,29	Campo	50	1643	Cidade	83	1652,5

FONTE: A autora.

NOTA: (*) Potencial máximo de geração de escoamento superficial de acordo com a equação 3 e 4 (SCS,1972) e utilizando a média histórica de precipitação.

Com a alteração dos usos da terra na área da bacia houve a alteração dos valores de CN para as mesmas áreas. Isso propiciou um aumento significativo nos valores de CN, principalmente pela transformação das áreas de campo e vegetação nativa em áreas urbanas. Portanto, esta substituição de áreas permeáveis (campo, vegetação nativa e cultivos) por áreas impermeáveis (áreas urbanizadas), contribuiu para as ocorrências de alagamentos e enchentes na área de estudo, este fato pôde ser observado pelo aumento em todos os valores de Q (potencial de geração de escoamento superficial) no decorrer dos anos na bacia.

Como verificado na figura 15 que demonstrou as ocorrências de alagamentos e enchentes na área de estudo, pode-se verificar várias ocorrências em uma mesma área, pertencentes ao bairro Contorno, na porção Noroeste da bacia. Uma dessas área é a rua Caramuru (Figura 35A e 35B), que apresentou 5 ocorrências entre 2007 a 2013.

FIGURAS 35A e 35B - Rua Caramuru no bairro Contorno em Ponta Grossa.



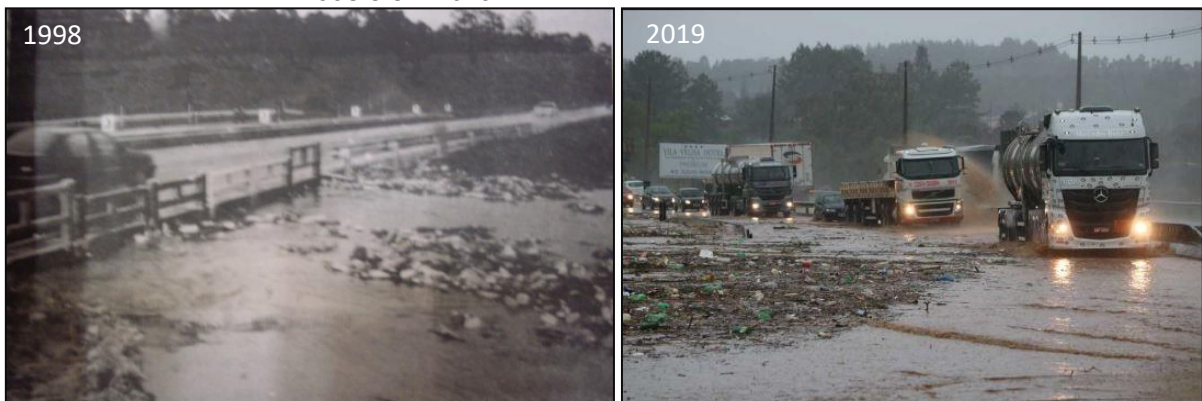
FONTE: A autora.

Quando verificado em campo as características desta rua, pode-se observar que existe uma área úmida paralela a mesma, ou seja, as moradias e a rua foram construídas sobre área de planície de inundação do arroio da Ronda, sendo uma das explicações para as várias ocorrências nesta via.

Nesta via os valores de CN e de escoamento superficial estão entre os mais elevados em todos os anos analisados, primeiramente pode ser uma área urbanizada e em segundo lugar por apresentarem as associações de solos Organossolos e Gleissolos.

As Figuras 36A e 36B apresentam a mesma situação, uma enchente, localizada na BR-376. O mesmo fato ocorreu com uma diferença de 21 anos (1998/2019), portanto as enchentes neste local são recorrentes.

FIGURAS 36A e 36B - Enchente na BR-376 (km 494) em uma ponte sobre o arroio da Ronda em 1998 e em 2019.



FONTE: MARTINS, M. Lixo acumula no arroio da Ronda. Jornal da Manhã, Ponta Grossa, p. B4, 09 Jul.1998;
JORNAL A REDE. Rio Ronda transborda e parte da rodovia é fechada. Ponta Grossa, 01 Jun. 2019.

A área onde está situada a BR-376 apresenta altos valores de CN e de escoamento superficial mais elevado para todos os anos analisados. As ocorrências

de enchentes neste ponto da bacia decorrem de vários fatores além do alto índice de escoamento superficial, ou seja, está situada em uma área de planície e as declividades não ultrapassam 3%. E secundariamente, há o problema dos resíduos sólidos lançados irregularmente nas ruas e diretamente nos cursos d'água, que acabam intensificando as ocorrências de enchentes.

Em muitas cidades brasileiras, inclusive Ponta Grossa, apresentam problemas em relação ao descarte incorreto de resíduos sólidos, em razão, principalmente, pela falta de orientação e sensibilização da população, pela deficiência de oferta do serviço de coletas dos resíduos sólidos ou pela insuficiência de políticas públicas que auxiliem os trabalhadores que coletam material reciclável.

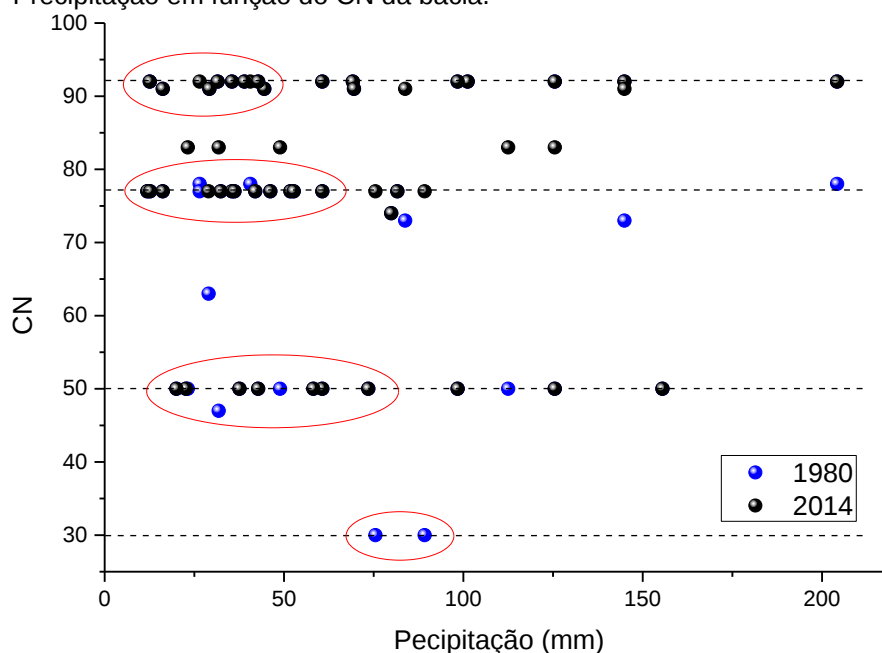
O sistema de drenagem pluvial urbano é afetado com o crescimento populacional e com a falta de educação ambiental da população, sendo que muitas vezes a poluição fluvial é de origem difusa, ou seja, é oriunda de lançamentos irregulares de resíduos sólidos das mais variadas localidades da própria bacia hidrográfica. Durante os episódios de chuvas os resíduos sólidos acabam obstruindo a passagem da água para as bocas de lobo e galerias pluviais, e quando alcançam as galerias ocasionam a diminuição do diâmetro destas dificultando a passagem das águas.

O destino final destes resíduos torna-se os arroios e rios, a consequência direta são os alagamentos e enchentes, como a demonstrado anteriormente nas figuras 36A e 36B. Entretanto, de acordo com Jacobi e Besen (2010) existem outras consequências para as populações como a “degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, contribuição para a poluição do ar e proliferação de vetores de importância sanitária nos centros urbanos” (JACOBI; BESEN, p. 1, 2010).

3.4. DISCUSSÕES

A figura 37 mostra um gráfico de CN, que combina o uso da terra e tipo de solos da bacia, em função da precipitação dos anos de 1980 e 2014. É possível observar algumas mudanças nos padrões em função do número de ocorrências representadas por cada ponto.

FIGURA 37 - Precipitação em função do CN da bacia.



FONTE: A autora.

Nesta figura foram delimitadas quatro faixas principais de CN representadas pelas linhas tracejadas. Para os valores de menor CN é possível observar que o ano de 1980 é dominante, também se observa que estas ocorrências (pontos azuis) estão em menor quantidade e se restringem às faixas de menor CN.

Isso decorre, pois no uso da terra de 1980 a urbanização possuía menor área, principalmente nas nascentes do arroio da Ronda e com o processo de ampliação da urbanização, o valor de CN consequentemente aumentou, contribuindo para que haja registros de enchentes na área de estudo.

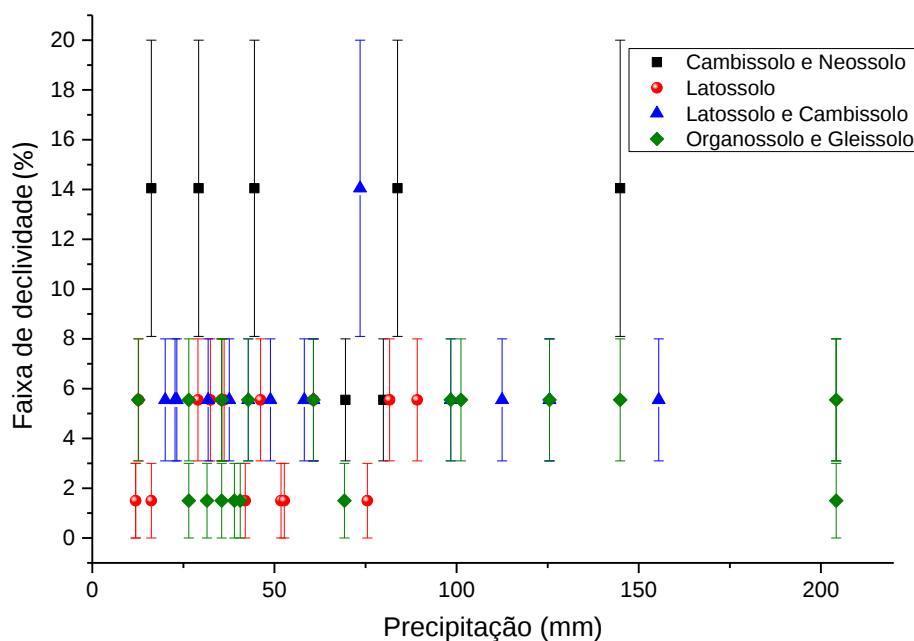
Conforme o CN aumenta há uma tendência no aumento da quantidade de ocorrências em regiões do gráfico, com menor precipitação, (destacadas pelas formas em vermelho). Essa tendência é importante para o esclarecimento, pois se observa que há uma diminuição da quantidade de precipitação necessária para que haja ocorrências de alagamentos e enchentes, ou seja, os maiores valores de CN estão associados ao aumento do número de ocorrências mesmo com menores volumes de precipitação. Como exemplo, têm-se as ocorrências nas ruas Ernesto Vilela (12mm), Frederico Bahls (16mm) e Vicente Machado (11mm), localizadas no divisor de águas da bacia. Nestas ruas é possível verificar que os terrenos são planos, propiciando a acumulação das águas pluviais.

Esta constatação é importante, pois mostra que as áreas impermeabilizadas (maiores CN), favorecem a acumulação de fluxo em determinadas áreas da bacia.

Também é interessante ressaltar que possivelmente as áreas com ocorrências de alagamentos no divisor de águas da bacia estejam com sistema de drenagem comprometido, situação cogitada por ocorrer alagamentos mesmo com baixos volumes de precipitação.

A figura 38 mostra a quantidade de ocorrências em função da declividade e tipos de solos na bacia.

FIGURA 38 - Ocorrências em função da declividade e tipos de solos na bacia.



FONTE: A autora.

A figura 38 também mostra faixas de declividade em função do volume de precipitação, sendo que cada ponto representa uma ocorrência, estas faixas representam as classes 0 a 3%; 3,1 a 8% e 8,1 a 20%.

Há três faixas de declividade claramente distintas, onde se pode observar que o maior número de ocorrências se encontra na faixa de 3,1 a 8% de declividade, representando aproximadamente 67% das ocorrências. A segunda maior quantidade de ocorrências está na faixa de menor declividade que varia de 0 a 3%, nesta faixa há a predominância de aproximadamente 23% das ocorrências e somente 10% estão localizadas em declividades entre 8,1 e 20%.

Pode-se notar claramente que a faixa de declividade mais baixa (0 a 3%) é formada apenas por Latossolo e associações de Organossolo e Gleissolo (pontos verdes e vermelhos). Na faixa intermediária entre 3,1 a 8% de declividade mais de 70% estão presentes as associações de Latossolo e Cambissolo; Organossolo e

Gleissolo. Nas declividades entre 8,1 e 20%, mais de 80% estão presentes as associações de Cambissolo e Neossolo.

Portanto, as ocorrências de enchentes e alagamentos na área de estudo estão associadas às transformações do uso da terra, aos fatores físicos da bacia, como a declividade e os tipos de solos. As menores declividades, entre 0 a 8% possuem maiores quantidade de ocorrências.

Os tipos de solos, associados às declividades mais baixas, que obtiveram maiores números de ocorrências são principalmente as associações de Organossolos e Gleissolos (21 ocorrências) localizados no sopé das encostas, os Latossolos (16 ocorrências) situados no topo e nas médias porções das vertentes e associações de Latossolos e Cambissolos (15 ocorrências) localizados, respectivamente, nas porções médias e no sopé das encostas.

Os Organossolos e Gleissolos localizam-se em ambientes úmidos, mal drenados, como nas várzeas e depressões do relevo. Estes solos estão relacionados com as áreas que apresentam maior suscetibilidade a saturação durante eventos de precipitação, sendo as zonas saturadas (áreas úmidas) de baixa declividade e que margeiam os cursos de água. Os Latossolos ocorrem em declividades suaves e as ocorrências neste tipo de solo podem estar associadas ao uso da terra, principalmente em relação à impermeabilização deste nas áreas urbanizadas.

Ao analisar o estudo de Driedrichs et al. (2009) sobre os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos da bacia nota-se que estes autores destacaram algumas áreas suscetíveis a enchentes e alagamentos. Nestes locais há intensa impermeabilização do solo e a topografia é plana, como a área drenada pelo arroio do autódromo (perfil figura 22D). Além disso, algumas das consequências produzidas pela impermeabilização do solo são as diminuições do tempo de concentração e aumento no pico de vazão do arroio.

Nunes et al. (2017) em sua pesquisa sobre o escoamento superficial na bacia do rio Atuba, na região metropolitana de Curitiba, concluem que os resultados obtidos evidenciam a correlação existente entre o aumento da impermeabilização do solo, a diminuição da capacidade de armazenamento e o aumento do escoamento superficial. As áreas com maior porcentagem de impermeabilização (área urbana) com solos mal drenados da classe D, após eventos de chuvas intensas, apresentam menor capacidade de armazenamento e maior escoamento superficial.

Apollonio et al. (2016) estudando a bacia do rio Cevaro (Itália) demonstraram que há uma correlação do aumento do CN e as ocorrências de enchentes. Isto é, a análise dos resultados mostrou uma alta correlação entre as áreas suscetíveis a enchentes e a mudanças no uso da terra, especialmente quando observado o aumento nas áreas impermeabilizadas devido ao aumento da urbanização. De fato, as áreas com maior valor de CN nesta bacia coincidem com as áreas onde há urbanização consolidada, assim como ocorre na bacia do arroio da Ronda.

Portanto, na bacia do arroio da Ronda as áreas impermeabilizadas com maiores valores de CN, propiciam maiores volumes de escoamento superficial. Houve também uma correlação entre as ocorrências de alagamentos e enchentes e as mudanças de uso e ocupação da terra, com a substituição de áreas naturais como os campos por áreas antropizadas, com a expansão da cidade e das modificações deste espaço urbano.

De acordo com os volumes de precipitação registrados ao longo dos anos analisados e as mudanças do uso da terra na área da bacia, os locais com maior potencial para a geração escoamento superficial estão situados nas áreas urbanizadas, nas planícies de inundação com associação dos solos Organossolos e Gleissolos e em áreas de baixas declividades, menores que 8%.

CONCLUSÕES

Os alagamentos, enchentes e o uso e ocupação da terra a partir do processo de impermeabilização do solo se mostraram relacionados, pois quando observadas as ocorrências de alagamentos e enchentes verifica-se que a grande maioria ocorre em locais de médio a alto escoamento superficial, ou seja, representadas nas cores mais escuras dos mapas de escoamento.

No período de 1980 os pontos de alagamentos e enchentes estão situados em locais que possuem escoamento superficial entre 55 mm a 135 mm, em 2006 estão situados entre 35 a 85 mm e em 2014 entre 59 a 155 mm. Esta informação torna-se relevante na medida em que conecta as ocorrências com o volume de água escoada, isto é, independentemente do período analisado a grande maioria das ocorrências estão situadas em locais de maiores valores de escoamento superficial.

A metodologia do CN demonstrou-se eficiente para evidenciar as áreas com maior impermeabilidade que potencializam o escoamento superficial na bacia do arroio da Ronda, situadas na porção urbanizada, isto é, nas áreas de adensamento de edificações. Esta condição é possibilitada justamente pela combinação dos condicionantes físicos e de uso e ocupação da terra na bacia.

A partir do mapeamento do uso e ocupação da terra e da aplicação da metodologia do CN, foi possível observar que alguns locais de vegetação nativa, campos e cultivos temporários foram substituídos por áreas urbanizadas. Esta ação acarretou em um aumento dos valores de CN e conseqüentemente propiciou o aumento da geração de escoamento superficial, portanto colaborando para as ocorrências registradas na área da bacia a partir do ano de 1982.

De acordo com os volumes de precipitação ocorridas ao longo dos anos analisados é possível observar que os locais com maior escoamento superficial estão localizados na porção Norte e Noroeste da bacia e nos locais ao longo do traçado do curso principal do arroio da Ronda e seus afluentes.

Apesar dos dados de alagamentos e enchentes serem somente da área urbana do município, a metodologia pôde contribuir para a espacialização das áreas com maior suscetibilidade a ocorrências de enchentes e alagamentos.

O histórico de ocorrências de alagamentos e enchentes, exposto ao longo da pesquisa, reforça a necessidade de atenção para com os problemas ambientais e

sociais decorrentes destes fenômenos, contribuindo assim para auxiliar no planejamento para melhoria ambiental da área de estudo.

Também é relevante destacar que a partir da visualização de áreas com maior suscetibilidade a ocorrências de alagamentos e enchentes é possível verificar os demais condicionantes envolvidos no processo de ocorrência destes fenômenos, incluindo as intensas precipitações pluviométricas. Além das ocorrências estarem associadas às transformações do uso da terra, também estão associadas a fatores físicos da bacia, como a declividade e os tipos de solos. As menores declividades favorecem o acúmulo de água em locais em que há maior impermeabilização do solo e um sistema deficiente para o escoamento das águas.

As áreas impermeabilizadas (maiores CN) propiciam maiores volumes de escoamento superficial nas diversas áreas da bacia. Possivelmente as áreas com tendência a ocorrências de alagamentos no divisor de águas da bacia podem estar associadas a um sistema de drenagem comprometido, fato este constatado por ocorrer alagamentos mesmo com baixos volumes de precipitação.

A partir do mapa de escoamento superficial, é possível verificar as características dos locais mais suscetíveis a ocorrências destes fenômenos, possibilitando, posteriormente, a possível verificação das condições de microdrenagem urbana de determinado local, investigando assim a obstrução ou falta de bocas de lobo e condições adequadas para o escoamento das águas pluviais.

Em relação à disposição do arruamento na bacia constatou-se que a grande maioria possui pavimentação asfáltica (322 ruas), sendo que destas ruas apenas 40 não possuem sistema de captação das águas pluviais. O principal sistema de drenagem verificado nas ruas da bacia são as bocas de lobo, presentes em 268 vias, sendo que a grande maioria das ruas possuía guias ou sarjetas que facilitam o escoamento das águas residuais e pluviais.

Em relação às curvas de nível e as ruas da bacia, foi constatado que 114 ruas não cortam as curvas de nível, portanto são ruas construídas em locais planos, com pouca declividade para o escoamento das águas. Isto pode significar que a pouca declividade das vias pode auxiliar o acúmulo de água em episódios de intensa precipitação pluviométrica, podendo ocasionar alagamentos.

Entretanto, não foi possível realizar a análise qualitativa e quantitativa do sistema de drenagem urbana da área de estudo, visto que a cidade de Ponta Grossa

não possui um levantamento das condições e localizações dos diferentes tipos de captação das águas pluviais, tais como as bocas de lobo. Portanto, não foi possível a verificação da manutenção destes sistemas de drenagem.

Ao mesmo tempo, devem-se considerar conjuntamente as características físicas e sociais da área estudada, pois locais de elevada declividade ou baixíssima declividade (planície de inundação), são geralmente ocupados por populações com carência socioeconômica. Neste sentido, o trabalho abre discussão para as questões de vulnerabilidade, que possui um amplo debate na comunidade científica, principalmente relacionado aos desastres naturais.

Algumas medidas a serem adotadas tanto pela população em geral quanto pelos governantes refere-se a maior permeabilidade do solo, com a ocupação de áreas que permitam a maior infiltração de água e diminuição do escoamento superficial. Por exemplo, o sistema de biorretenção, que utiliza a atividade biológica de plantas e microorganismos para remover os poluentes das águas pluviais, e contribui para a infiltração e retenção da água da chuva; captação e utilização das águas das chuvas para regar plantas e utilização em descargas; manutenção de bocas de lobo e a reciclagem de resíduos sólidos.

Ainda, é essencial seguir um planejamento da ocupação do espaço urbano através de um plano diretor urbano eficiente que considere os aspectos de drenagem urbana e da qualidade da água. Isto é, implementar um sistema de drenagem urbana eficiente que minimize os impactos ocasionados pelas ocorrências de enchentes naturais, reduzindo os riscos, transtornos e custos para a sociedade. Um plano de drenagem eficiente também deve considerar que intervenções humanas sobre o meio ambiente podem potencializem ocorrências de enchentes em diversos locais da bacia.

A realização deste trabalho oferece uma contribuição científica para a comunidade pontagrossense, para maior conhecimento dos processos hidrológicos e físicos da área, mas, sobretudo possui o intuito de melhoria social para a população residente na área da bacia, no que tange a educação ambiental e na reivindicação de direitos igualitários, principalmente ao direito às moradias adequadas livres de áreas de risco a enchentes. Espera-se que os resultados aqui apresentados auxiliem na elaboração e implementação de políticas públicas que visem o melhoramento as áreas suscetíveis às ocorrências de alagamentos e enchentes na bacia.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. **Relatórios e Alturas de Precipitação (diário, mensal e anual) do período de 1980 a 2018**. 2018. Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=264#>>> Acesso em 10 de Maio de 2018.

ALVES, A. P.; SANTOS, J. S.; CARVALHO, S. M. **Dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Arroio da Ronda no município de Ponta Grossa (PR) entre os anos de 1980 e 2014**. In: Anais XXV Semana de Geografia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018, Ponta Grossa, UEPG, 2018, p. 1 - 5.

ANA. Agência Nacional de Águas. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Portal HidroWeb. **Dados da estação de monitoramento. Estação Santa Cruz**. 2018. Disponível em <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapahidroweb.jsf>> Acesso em 18 de Outubro de 2018.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p. 39-52.

APOLLONIO, C.; BALACCO, G.; NOVELLI, A.; TARANTINO, E.; PICCINNI, A. F. Land use change impact on flooding areas: case study of Cervaro basin (Italy). **Sustainability**, v. 8, n. 996, 2016.

ARAÚJO, D. C.; SILVA, P. O.; CURI, W. F.; CABRAL, J. J. S. P. Multicriteria analysis applied to the management of urban pluvial Waters. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** (Brazilian Journal of Water Resources), Porto Alegre, v. 22, n. 18, 2017.

ARNAUD, A. C. **O Potencial Ecoturístico do Parque Municipal Mata Boca da Ronda: Estudo de Caso de Uma Unidade de Conservação Urbana na Cidade de Ponta Grossa – Pr**. 2013, 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Bacharelado em Turismo) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. Revisão de Suely Bastos. Coordenação editorial de Antonio Christofolletti. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BARBOSA, Y. B. CARVALHO, S. M. Análise morfométrica da bacia do arroio do Padre, Ponta Grossa - PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 10, n. 30 Mar/2009, p. 160 - 173. Disponível em <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhos_degeografia/article/view/15832> Acesso em 01 de Outubro de 2018.

BEDIENT, P. B.; HUBER, W. C.; VIEUX, B. E. **Hydrology and Floodplain Analysis**. 5ª ed. London: Pearson Education Limited, 2013.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994.

BELWARD, A. S. SKOEN, J. O. Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 103, maio de 2015, p. 115–128. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271614000720?via%3Dihub>> Acesso em 28 de Junho de 2019.

BENINI, S. M.; ROSIN, J. A. R. G. Águas urbanas: dinâmica fluvial em cidades. In: BENINI, S. M.; ROSIN, J. A. R. **A questão Ambiental em debate**. Pesquisas e práticas. 2 ed. Tupã: ANAP, 2018, p. 23-38.

BIE, C. A. J. M.; LEEUWEN, J. A. V.; ZUIDEMA, P. A. **The land use database. A knowledge-based software program for structured storage and retrieval of userdefined land use data sets**. User's reference manual. Version 1.04 for MS-DOS. Enschede (Netherlands): International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation; Food and Agriculture Organization; United Nations Environment Programme; Wageningen University, 1996. 41 p. Disponível em: <<http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/LM/SUSLUP/Luse/Manual/chap2.pdf>> Acesso em 14/06/2018.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004.

BRASIL. **Lei nº 12651. Código Florestal Brasileiro**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. 25 de maio de 2012. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> Acesso em 20 de Dezembro de 2019.

BURNS, M. J.; FLETCHER, T. D.; WALSH, C. J.; LADSON, A. R.; HATT, B. E. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. **Landscape and Urban Planning**. v. 105, n. 3, Abril de 2012. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920461100363X>> Acesso em 20 de Setembro de 2019.

BUTLER, D.; DIGMAN, C.; MAKROUPOULOS, C.; DAVES, J. W. **Urban drainage**. 4ª ed. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2018.

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

CASA DA MEMÓRIA DE PONTA GROSSA. Prefeitura Municipal de Ponta Grossa. **Acervo do Jornal da Manhã do período de 1980 a 2004**. Pesquisa realizada nos dias 26 e 29 de Abril de 2019.

CARVALHO, S. M. A contribuição dos estudos em bacias hidrográficas para a abordagem ambiental na Geografia. In: MENDONÇA, F. A.; LOWEN-SAGR, C.; SILVA, M. **Espaço e Tempo: complexidade e desafios do pensar e do fazer geográficos**. Curitiba: ADEMADAN, 2009, p. 201-218.

CARVALHO, S. M.; STIPP, N. A. F. Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do Paraná: uma proposta de classificação qualitativa. **Geografia** (Londrina), v.13, n. 1, Jan./Jun. 2004. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6790/6112>> Acesso em 04 de Fevereiro de 2020.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Hidrologia Aplicada. Bogotá: Editorial Mc Graw-Hill, 583 p., 1994.

COSTA, T. O. **Eventos de precipitação extrema associados às inundações na área urbana de Bragança-PA**. 199 f., 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9431/COSTA%2c%20TARCISIO%20OLIVEIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em 13/03/2019

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia. Uma atualização de bases e conceitos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p. 93-148.

CRUZ, G. C. F. Alguns aspectos do clima dos Climas Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p. 59-72.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p. 211-252.

DAVIE, T. **Fundamentals of Hydrology**. 2ª ed. New York: Routledge, 2008.

DRIEDRICH, A. S.; ANDRADE FILHO, A. G.; BALARIM, R. C. Estudos hidrológicos e efeitos da urbanização na bacia do Arroio da Ronda em Ponta Grossa - Paraná. **Publicatio UEPG**. Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharia, Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p. 25-37, abr. 2009. Disponível em <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas/article/view/972/840>> Acesso em 13/04/2018.

DUNNE, T.; BLACK, R. D. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. **Water Resources Research**, v. 6, p. 1296-1311, 1970a.

DUNNE, T.; BLACK, R. D. An experimental investigation of runoff production in permeable soils. **Water Resources Research**, v. 6, p. 478-490, 1970b.

ESLAMIAN, S. **Handbook of Engineering Hydrology: Fundamentals and Applications**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2014.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996.

FASOLO, P. J.; HOCHMÜLLER, D. P.; CARVALHO, A. P.; CARDOSO, A.; RAUEN, M. J.; POTTER, R. O. **Guia para identificação dos principais solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1986.

FERRAZ, P.; BARROS, O. N. F.; BARROS, M. V.; STIPP, N. A. F.; FARIA, G. G. Uso do solo e perda de área de infiltração na bacia do Ribeirão Cambé: Londrina - Paraná. In: STIPP, N. A. F. (Org.) **Análise ambiental em ciências da terra: recursos hídricos**. Londrina: Humanidades, 2007, p. 115-130.

FERREIRA, L. G. B.; CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; NITSCHKE, P. R.; COSTA, A. B. F. O fenômeno El Niño de 2015/2016 e seus impactos nas chuvas do Paraná. **Boletim ENOS**, 2017 Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/File/zippdf/agrometeorologia/2017-01-09-boletim-enos.pdf>> Acesso em 10 de Julho de 2019.

FREITAS, A. R. **Identificação de áreas potencializadoras de inundações e enxurradas: uma proposta metodológica aplicada na bacia arroio dos Pereiras, Irati-PR**. 150 f., 2018. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: <<http://sites.uepg.br/ppgg/doutorado>> Acesso em 20 de Dezembro de 2018.

FUJITA, R. H.; GON, P. P.; STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L.; ETCHEBEHERE, M. L. Perfil longitudinal e a aplicação do índice de gradiente (RDE) no rio dos Patos, bacia hidrográfica do rio Ivaí, PR. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 4, n. 41, p. 597- 603, Dez. 2011.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1988.

GOMES, E. M. **Evolução Urbana de Ponta Grossa- PR: Uma análise entre as décadas de 1960 e 2000**. 138 f., 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

GONÇALVES, M.; BARROS, M. V. Risco de alagamentos no Estado do Paraná: análise da periculosidade e da vulnerabilidade. **Confins**. Revista Franco-Brasileira de Geografia. n. 27, 2016. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/10974>> Acesso em 03 de março de 2019.

GRECCO, L. B.; MANDELLI, M. S.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Influência da Seleção de Variáveis Hidrológicas no Projeto de Sistemas Urbanos de Macrodrenagem - Estudos de Caso para o Município de Vitória - ES. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 17, n.4, Out/Dez 2012, p. 197-206. Disponível em <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/96/282e3ed4d7fcbabc949021add5143ee5_1d572ac9c69f112f8a15803f8d183bb5.pdf> Acesso em 24 de Outubro de 2019.

GUIMARÃES, G. B.; MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F.; MELEK, P. R. Geologia dos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p. 24-32.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A.R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. International Symposium of Forest Hydrology. **Pergamon Press**, Oxford. p. 275-290, 1967.

HOFFMANN, T. C. P.; MENDONÇA, F.; GOUDARD, G. Eventos climáticos extremos: inundação e gestão de riscos no Paraná. In: MENDONÇA, F. **Riscos Climáticos: vulnerabilidade e resiliência associados**. Judiaí: Paco Editorial, 2014, p. 223-260.

HOLTZ, A. C. T. Precipitação. In: PINTO, N. S.; HOLTZ, A. C. T. ; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. 5ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

HORNBERGER, G. M.; RAFFENSPERGER, J. P.; WIBERG, P. L.; ESHLEMAN, K. N. **Elements of Physical Hydrology**. J. Hopkins, p. 302, 1998.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Am. Geophys. Un., 14, p.446-460, 1933.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>> Acesso em 10 de Março de 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>> Acesso em 30/03/2018.

IPLAN. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Ponta Grossa. **Perímetro urbano do município de Ponta Grossa**, 2005.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. **Fotografias aéreas de Ponta Grossa. Mapeamento do uso e ocupação da terra**. 1:25.000, 1980.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. **Carta topográfica de Ponta Grossa**. 1:50.000. Folha SG-22-X-C-II-2 MI-2840-2, 1996.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v25n71/10.pdf>> Acesso em 02 de Abril de 2020.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The Flood Pulse Concept in River Floodplain Systems. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Special Publication, n.106, p. 110-127, 1989.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; CUNHA, C. N.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFERNOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A.; NÓBREGA,

R. L. B.; CAMARGO, E. Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. In: CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. Cuiabá: Editora UFMT, p. 13-82, 2015. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/279922131>> Acesso em 07 de Julho de 2019.

LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO - DEGEO/UEPG. **Imagem QuickBird. Mapeamento do uso e ocupação da terra**. Resolução espacial de 60 centímetros, 2006.

LIMA, A. S.; FONTES, A. L. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão. In: SOUZA, R. M. **Território, planejamento e sustentabilidade: Conceitos e Práticas**. São Cristóvão: Editora UFS, 2009, p. 83-100.

LOLLO, J. A.; NEVES, M. P.; ARANTES, L. T.; LIMA, C. G.; LORANDI, R. Mudanças de uso e cobertura da terra e degradação ambiental em bacias hidrográficas. In: AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. **Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**. 2ª ed. Tupã: ANAP, 2019, p. 17-42.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. **Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços**. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.

MACHADO, G.; SOUZA, J. O. P. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Chôco - Ibaiti - PR. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina, 2005. **Resumo expandido**. São Paulo: USP, 2005. Disponível em <<http://docplayer.com.br/9309363-Analise-morfometrica-da-bacia-hidrografica-do-rio-choco-ibaiti-pr.html>> Acesso em 09 de Novembro de 2018.

MASCARÓ, J. L. **Loteamentos urbanos**. Porto Alegre: L. Mascaró, 2003.

MASCARÓ, J. L.; YOSHINAGA, M. **Infraestrutura urbana**. 2 ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2013.

MARTINS, J. R. F. Obras de macrodrenagem. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995.

MEDEIROS, C. V.; MELO, M. S. Processos erosivos no espaço urbano de Ponta Grossa. In: DITZEL, C. H. M.; LÖWEN SAHR, C. **Espaço e Cultura**. Ponta Grossa e os Campos Gerais. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2001, p. 109-126.

MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007.

MELO, M. O. **Estudo da precipitação e seus impactos no município de Rio Claro: uma análise do ano de 2011**. 2013, 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2013.

Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/95541>> Acesso em 14 de Junho de 2019.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENEGUZZO, P. M. **Evolução no uso da terra na bacia do Arroio da Ronda (Ponta Grossa - PR) e sua influência nos processos geomorfológicos**. 148 f., 2009. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MINEROPAR - Minerais do Paraná. **Mapa geológico de Ponta Grossa. Folha de Ponta Grossa**. SG.22-X-C, escala 1:100.000. Curitiba, 2007.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Imagem de satélite RapidEye. Mapeamento do uso e ocupação da terra**. Resolução espacial de 5 m, 2014.

MORAES, I. C. **Análise da dinâmica do uso da terra e sua interferência em inundações na cidade de Rio Claro (SP)**. 114 f, 2011. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional), Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92936/moraes_ic_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 13 de Março de 2019.

MORAES NETO, J. M.; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. Campina Grande (PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.61–66, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a08>> Acesso em 10/07/2019.

MUSY, A.; HIGY, C. **Hydrology: a science of nature**. New York: Taylor and Francis Group, 2011.

NOTAS DE AULA. **A construção e a interpretação do gráfico de análise rítmica**. Disciplina de Climatologia Geográfica, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

NRCS. National Resource Conservation Service. / USDA. United States Department of Agriculture. **National Engineering Handbook Hydrology: Chapters 1 to 22**. 1972-2014. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/hydrology/?cid=stelprdb1043063>> Acesso em 01 de Março de 2019.

NUNES, F. G. Modelagem hidrológica e técnicas de geoprocessamento na estimativa da impermeabilização do solo e escoamento superficial da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns - Goiânia (GO). **Ateliê Geográfico Goiânia**, Goiânia, v. 6, n. 2 agosto de 2012, p. 55-74. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/ateli/article/view/15251/11447>> Acesso em 25 de Junho de 2019.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana-Paraná/ Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 64-65, 2011, p. 27-39. Disponível em <<https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/download/6647/20612>> Acesso em 09 de Fevereiro de 2020.

OLIVEIRA, L. M. **Coeficiente de escoamento de enchente em duas bacias hidrográficas experimentais em Uberlândia - MG**. 2018, 74 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21315>> Acesso em 25 de Junho de 2019.

PEPLAU, G. J. R.; NEVES, M. G. F. P. Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 19, n.4, Out/Dez 2014, p. 97-106. Disponível em <https://abrh.s3.sa-east1.amazonaws.com/Sumarios/173/35d8f53baf6a94378d1787530f3a4bf7_25e12e98f043d8566c34ea082e0bc6ea.pdf> 20 de Setembro de 2019.

PINHEIRO, A. Enchente e Inundação. In: SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade Ambiental**. Desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007, p. 95-106.

POLETO, C. Bacias hidrográficas urbanas. In: POLETO, C. **Bacias hidrográficas e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

PONTA GROSSA. **Lei nº 4832 que dispõe sobre a criação das unidades de conservação**: Parque Municipal Boca da Ronda, Parque Municipal Chácara Dantas, Parque Municipal Buraco do Padre, Parque Municipal Fonte do Bicão, Parque Municipal Rio Verde, Parque Municipal São Jorge, Parque Municipal Capão da Onça. 09 de dezembro de 1992. Disponível em <<https://leismunicipais.com.br/a1/pr/p/ponta-grossa/lei-ordinaria/1992/483/4832/lei-ordinaria-n-4832-1992-dispo-e-sobre-a-criacao-das-unidades-de-conservacao-que-menciona-e-da-outras-providencias>> Acesso em 20 de Dezembro de 2019.

PONTA GROSSA. **Lei nº 6329 que dispõe sobre o zoneamento de uso e ocupação do solo das áreas urbanas do município de Ponta Grossa**. 16 de dezembro de 1999. Anexo II Tabela II – Índices Urbanísticos. Disponível em <<https://leismunicipais.com.br/a1/pr/p/ponta-grossa/lei-ordinaria/1999/633/6329/lei-ordinaria-n-6329-1999-consolida-e-atualiza-a-legislacao-que-dispoe-sobre-o-zoneamento-de-uso-e-ocupacao-do-solo-das-areas-urbanas-do-municipio-de-ponta-grossa-2019-04-29-versao-compilada>> Acesso em 05 de Junho de 2019.

PORTO, R. L. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995.

PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001, p. 805-847.

REZENDE, G. B. M. **Modelo hidrológico e hidráulico para estimativa e delimitação de áreas inundadas: uma ferramenta de auxílio à elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. 2012 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14165/1/d.pdf>> Acesso em 13 de Maio de 2019.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L. **Aquíferos do Estado do Paraná**. Curitiba: Edição do autor, 2011.

SÁ, M. F. M. Os solos dos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio Natural dos campos Gerais**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007, p. 73-83.

SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade ambiental**. Desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007.

SANTOS, L. J. C; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná, **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 7, n. 2, 2006, p. 03-11. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/74/67>> Acesso em 20 de outubro de 2018.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos**. 2004, 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2004. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257875/1/Sartori AdersonM.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257875/1/Sartori%20AdersonM.pdf)> Acesso em 14 de Junho de 2019.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; 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, Out./Dez. 2005a, p. 05-18. Disponível em: <<http://132.248.9.34/hevila/Revistabrasileiraderecursoshidricos/2005/vol10/no4/1.pdf>> Acesso em 14 de Junho de 2019.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; 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 Pare 2: Aplicação. **RBRH - Revista Brasileira de recursos Hídricos**. v. 10, n. 4, Out./Dez. 2005b, p. 19-29. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=26&SUMARIO=442>> Acesso em 14 de Junho de 2019.

SATO, A. M. **Respostas geo-hidroecológicas relacionadas à substituição de pastagens por plantações de Eucalipto no médio vale do Rio Paraíba do Sul: a interface biota-solo-água**. 160 f. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SEIBT, A. C.; SILVA, T. M. F.; FORMIGA, K. T. M. Avaliação do Impacto da Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Córrego Serrinha, em Goiânia (GO) Empregando o StormWater Management Model - SWMM. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, Maceió, 2011, p. 1-18.

SEIFERT, C. A. C.; SANTOS, I. Mecanismos de geração de escoamento e áreas hidrologicamente sensíveis: uma abordagem hidrogeomorfológica para delimitação de áreas de preservação permanente. **RAÍE GA**, Curitiba, v. 24, p. 227-257, 2012. Disponível em <<http://w3.ufsm.br/rhima/images/trabalhos/2012/7.pdf>> Acesso em 20 de Janeiro de 2020.

SILVA, R. D. **A dinâmica do uso da terra e seu efeito nas enchentes da bacia do Córrego do Parque (SP)**. 2016, 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/145025>> Acesso em 10 de Junho de 2019.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3, n. 3, Jul/Set. 1998. p. 97-10.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001, p. 35-41.

SISDC. Sistema Informatizado de Defesa Civil do Paraná. **Anuário da coordenadoria de proteção e Defesa Civil do Paraná: Ações desenvolvidas em 2017**. Curitiba: CEPED/PR; FUNESPAR, 2018.

SOARES, M. R. G. J.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T.; KAVISKI, E. Eficiência do método Curve Number de retenção de águas pluviais. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, e16001, 2017.

SOUSA, J. S. **Áreas de preservação permanente urbanas: mapeamento, diagnóstico, índice de qualidade ambiental e influência no escoamento superficial. Estudo de caso: Bacia do Córrego das Lages, Uberaba, MG**. 2008, 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14120/1/Joyce.pdf>> Acesso em 17 de Junho de 2019.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 17, n.2, Abr/Jun 2012, p. 9-18.

TAKEDA, A. K.; TAKEDA, I. J. M.; FARAGO, P. V. Unidades de Conservação da região dos Campos Gerais do Paraná. **Publicatio UEPG - Biologia e Ciências da Saúde**, Ponta Grossa, v. 7, n. 1, p. 57-78, 2001.

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L.. **Determinação do Parâmetro CN para Sub-bacias Urbanas do Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237756403_DETERMINACAO_DO_PARAMETRO_CN_PARA_SUB-BACIAS_URBANAS_DO_ARROIO_DILUVIO_-_PORTO_ALEGRE/RS> Acesso em 25 de junho de 2019.

TRAVASSOS, L. R. F. C. **Revelando os rios: novos paradigmas para a intervenção em fundos de vale urbanos na Cidade de São Paulo**. 2010, 242 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciência Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-22102010-104858/pt-br.php>> Acesso em 17 de Junho de 2019.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001, p. 391-441.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001, p. 621-658.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, p. 45-151.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. São Paulo: ABRH, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília: CEPAL/IPEA, 2012.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2003.

VESTENA, L. R. **Desnaturalização dos desastres: Em busca de comunidades resilientes**. Curitiba: CRV, 2017.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WOLLMANN, C. A. Enchentes no Rio Grande do Sul do século XXI. **Mercator**, v. 13, n. 1, p. 79-91, 2014.

**ANEXO A - Quadro com as informações de todas as ocorrências de
alagamentos e enchentes registradas na bacia do arroio da Ronda entre 1980 a
2017**

ANEXO A - Quadro com as informações de todas as ocorrências de alagamentos e enchentes registradas na bacia do arroio da Ronda entre 1980 a 2017.

(Continua)

Ocorrências	Anos	Ruas	Coordenadas UTM	Precipitação (mm)	Declividade (%)	Tipos de solo	Uso da terra em 1980	CN em 1980	Uso da terra em 2014	CN em 2014
1	1982	Rua Nicolau Kluppel Neto	580693 / 7224275	51,8	0 a 3	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
2	1983	Rua F (Laercio Gama Durante)	582919 / 7224275	144,9	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
3	1983	Rua Bolívia	583700 / 7223772	144,9	8,1 a 20	Cambissolo e Neossolo	Vegetação Nativa	73	Cidade	91
4	1983	Avenida presidente Kennedy	582077 / 7221710	26,5	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Campo	78	Cidade	92
5	1983	Rua Capitão Pedro Afonso	582062 / 7223375	26,5	0 a 3	Organossolo e Gleissolo	Vegetação Nativa	77	Cidade	92
6	1995	Avenida Visconde de Taunay	582172 / 7223614	69,2	0 a 3	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
7	1996	Rua Baltazar Lisboa	582747 / 7223562	81,6	3,1 a 8	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
8	1996	BR 376	582622 / 7220922	23,2	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Campo	50	Cidade	83
9	1996	BR 376	582649 / 7220902	112,5	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Campo	50	Cidade	83
10	1998	Rua Sertanópolis	581929 / 7223133	204,2	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
11	1998	Rua Sertanópolis	581969 / 7223373	204,2	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
12	1998	Rua Sertaneja	581941 / 7223233	204,2	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
13	1998	BR 376	582246 / 7221264	204,2	0 a 3	Organossolo e Gleissolo	Campo	78	Cidade	92
14	1998	BR 376	582265 / 7221241	40,6	0 a 3	Organossolo e Gleissolo	Campo	78	Cidade	92
15	1999	Rua Santa Rita Durão	584901 / 7220925	60,7	3,1 a 8	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
16	1999	Avenida União Panamericana	584356 / 7221816	60,7	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
17	1999	Rua F (Rua Laercio Gama Durante)	582841 / 7224309	60,7	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
18	1999	Rua F (Rua Laercio Gama Durante)	582881 / 7224336	60,7	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
19	2001	Rua Padre João Lux	584754 / 7223930	35,5	3,1 a 8	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
20	2001	Rua E (Rua da Praça)	581979 / 7223435	35,5	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
21	2001	Rua São Josafat	582529 / 7224211	35,5	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
22	2001	Rua São Josafat	582491 / 7224138	35,5	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
23	2001	Rua Paula Gomes	582088 / 7224205	35,5	0 a 3	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
24	2005	Rua Marques de Souza	584899 / 7222553	52,7	0 a 3	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
25	2005	Rua Doutor Joaquim de Paula Xavier	583989 / 7222763	11,9	0 a 3	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
26	2005	Avenida Doutor Vicente Machado	584504 / 7224240	11,9	0 a 3	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
27	2005	Rua Padre Nóbrega	585010 / 7222011	16,2	0 a 3	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
28	2006	Rua Quinze de Novembro	584686 / 7224103	42	0 a 3	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
29	2006	Rua Frederico Bahls	584141 / 7224321	16,2	8,1 a 20	Cambissolo e Neossolo	Cidade	91	Cidade	91
30	2006	Rua Santa Rita Durão	584766 / 7220887	32,4	3,1 a 8	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77

ANEXO A - Quadro com as informações de todas as ocorrências de alagamentos e enchentes registradas na bacia do arroio da Ronda entre 1980 a 2017.

(Conclusão)

Ocorrências	Anos	Ruas	Coordenadas UTM	Precipitação (mm)	Declividade (%)	Tipos de solo	Uso da terra em 1980	CN em 1980	Uso da terra em 2014	CN em 2014
31	2006	Avenida Ernesto Vilela	583501 / 7225161	12,7	3,1 a 8	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
32	2007	Rua Caramuru	581938 / 7223865	22,7	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
33	2008	Rua Tobias Moscoso	583758 / 7223537	31,8	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Vegetação Nativa	47	Cidade	83
34	2008	Avenida União Pan-americana	584351 / 7221830	58,2	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
35	2008	Rua Joaquim de Paula Xavier	584164 / 7223099	46,2	3,1 a 8	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
36	2008	Rua São Josafat	583024 / 7225121	44,5	8,1 a 20	Cambissolo e Neossolo	Cidade	91	Cidade	91
37	2008	Rua Caramuru	581922 / 7223685	101,2	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
38	2009	Rua Visconde de Nácar	584391 / 7223586	83,8	8,1 a 20	Cambissolo e Neossolo	Vegetação Nativa	73	Cidade	91
39	2009	Rua Doutor João Alves Pereira	582878 / 7220348	75,5	0 a 3	Latossolo	Campo	30	Cidade	77
40	2009	Rua João Gualberto	583505 / 7219524	29	3,1 a 8	Latossolo	Cultivos temporários diversificados	63	Cidade	77
41	2009	Rua Ozório Guimarães	582533 / 7220800	79,9	3,1 a 8	Cambissolo e Neossolo	Campo	74	Cidade	74
42	2009	Travessa Joaquim Loyola	584533 / 7223443	73,5	8,1 a 20	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
43	2009	Rua Professora Maria S. F. Amora	584519 / 7221837	20	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
44	2010	Rua Caramuru	581945 / 7223921	37,6	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
45	2010	Rua Bolívia	583686 / 7223828	29,2	8,1 a 20	Cambissolo e Neossolo	Cidade	91	Cidade	91
46	2010	Rua Coronel Dulcídio	584683 / 7223541	36,2	3,1 a 8	Latossolo	Cidade	77	Cidade	77
47	2010	Rua Caramuru	581916 / 7223612	39	0 a 3	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
48	2011	Rua Padre João Piamarta	582823 / 7220234	89,2	3,1 a 8	Latossolo	Campo	30	Cidade	77
49	2011	Rua Alto Paraná	582445 / 7224557	155,5	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
50	2011	Rua Taquarí	581839 / 7223676	12,6	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
51	2013	Rua da Praça	581963 / 7223365	42,8	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
52	2013	Rua Caramuru	581953 / 7224023	42,8	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
53	2013	Rua Cordovil do Merity	584610 / 7221816	69,5	3,1 a 8	Cambissolo e Neossolo	Cidade	91	Cidade	91
54	2015	Rua Taquarí	581798 / 7223682	98,4	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
55	2015	Rua Porecatu	582199 / 7223799	98,4	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
56	2016	Rua Osório Guimarães	582551 / 7220824	48,9	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Campo	50	Cidade	83
57	2017	Rua Osório Guimarães	582583 / 7220874	125,5	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Campo	50	Cidade	83
58	2017	Rua Alto Paraná	582409 / 7224486	125,5	3,1 a 8	Latossolo e Cambissolo	Cidade	50	Cidade	50
59	2017	Rua Porecatu	582266 / 7223761	125,5	3,1 a 8	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92
60	2017	Rua Joaquim Murtinho	582009 / 7224124	31,5	0 a 3	Organossolo e Gleissolo	Cidade	92	Cidade	92

FONTE: NRCS. National Resource Conservation Service. / USDA. United States Department of Agriculture. National Engineering Handbook Hydrology: Chapters 1 to 22. 1972-20140; PORTO, R. L. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995; SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; 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, Out./Dez. 2005a, p. 05-18; MENEGUZZO, P. M. Evolução no uso da terra na bacia do Arroio da Ronda (Ponta Grossa - PR) e sua influência nos processos geomorfológicos. 148 f., 2009. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009; Paranacidade, 2005; ITCG, 1996; IBGE, 2013; Casa da Memória de Ponta Grossa, 1980-2004; 2ª Grupamento de Corpo de Bombeiros de Ponta Grossa, 2005-2017; A autora, 2020.