UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JULIA REIS SCHIMIDT

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E A GERAÇÃO DE CARGAS DIFUSAS POR MEIO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

VITÓRIA

2018

JULIA REIS SCHIMIDT

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E A GERAÇÃO DE CARGAS DIFUSAS POR MEIO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Profº Ph.D Antônio Sérgio Ferreira Mendonça

VITORIA

2018

JULIA REIS SCHIMIDT

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E A GERAÇÃO DE CARGAS DIFUSAS POR MEIO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Ph. D. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça

Universidade Federal do Espírito Santo

Orientador

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque

Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Marco Aurélio Caiado

Instituto Federal do Espírito Santo

RESUMO

A expansão urbana desordenada gera impactos no ciclo hidrológico da água. Com a impermeabilização do solo ocorre diminuição do volume infiltrado, bem como da evapotranspiração, resultando no aumento do escoamento superficial. Este trabalho tem como objetivo analisar a influência das mudanças de uso e ocupação do solo no escoamento superficial e no transporte de cargas difusas através da aplicação de modelagem computacional em uma bacia hidrográfica. Para atingir este objetivo foram criados cenários baseados no uso e ocupação do solo atual e nos Planos Diretores dos municípios inseridos na Bacia do Ribeirão Claro, estado de São Paulo. Esta bacia foi escolhida devido aos diversos usos e ocupações do solo, além do crescimento urbano ao longo dos últimos anos. Foram propostas discretizações distintas da área para análise da importância da homogeneização das características das sub-bacias. Foram criados cenários que correspondem ao uso e ocupação do solo atual, com base nos Planos Diretores e considerando que partes das diretrizes dos Planos fossem seguidas, sendo que as Unidades de Conservação que deveriam existir na área norte da Bacia do Ribeirão Claro não fossem respeitadas para este cenário. No estudo, a aplicação do modelo possibilitou observar que no cenário futuro otimista haveria redução do escoamento superficial nas áreas localizadas ao norte da Bacia. Nos cenários pessimistas verificam-se valores de escoamento superficial superiores em relação ao uso atual, devido ao incremento de área urbana, mesmo com a consideração de revegetação das áreas de APPs. Em relação à produção de carga difusa, os resultados mostraram que, no cenário otimista, haveria uma redução expressiva na produção de poluentes de origem difusa, como por exemplo, uma redução de 69% na geração de fósforo total em relação ao cenário atual. Concluiu-se que é de grande importância a análise de como zonas de ocupação irão influenciar na geração de escoamento e na produção de cargas difusas, com o objetivo de planejamento visando diminuição dos impactos causados pela expansão urbana.

Palavras Chaves: Modelagem. Escoamento superficial. Carga difusa. SWMM. Uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

Urban areas expansion causes impacts on the hydrological cycle. Waterprofing decreases infiltrated volume, resulting in a surface runoff increase. This study objectives to analyze the influence of land use and occupation changes on surface runoff and diffuse pollution transport through the application of computer simulation in a river basin. To achieve this goal, scenarios based on current land use and occupation and based on zoning regulations of the municipalities located in the Ribeirão Claro Basin, state of São Paulo were created. This basin was chosen due to the different land uses and occupations, besides the urban growth during last years. Different discretizations of the area were proposed in order to analyze the importance of sub-basins characteristics homogeneities. Scenarios corresponding to current land use and occupation and based on zoning regulations, considering that municipal plans guidelines were followed, and that the conservation areas planned for Ribeirão Claro basin northern area were not respected were created. In this study, with the application of the model it was possible to observe that for the future optimistic scenario there would be flows reduction in the areas located in the north of the basin, the same did not occur for the pessimistic scenario, for which was simulated higher surface runoff, due to the increase of urban area, even considering preservation areas revegetation. About diffuse load production, the results showed that for the optimistic scenario there would be an expressive reduction in diffuse origin pollutants production, such as reduction of 69% of the total phosphorus in relation to the current scenario. It was concluded that it is very important to analyze how occupation zones will influence the generation of runoff and the production of diffuse pollution, objectiving planning urban expansion impacts reduction.

Keywords: Model. Surface runoff. Diffuse pollution. SWMM. Land uses and ocupation.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A esta Universidade e seu corpo docente pela minha formação. Por me proporcionarem conhecimento e por aumentarem meu amor pela futura profissão.

Ao Prof. Ph. D. Antônio Sérgio, pela orientação, apoio e confiança na elaboração deste trabalho.

A UNESP/Rio Claro pela disponibilização de estudos e dados que permitiram a confecção deste trabalho.

A Selena, por todo o auxílio, pelo fornecimento de materiais de estudo, pelas dicas e pelo apoio.

A minha família e ao Gabriel, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Pelos conselhos nos momentos mais difíceis, não somente durante esses anos como universitária, mas em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos, principalmente a Andressa, Henrique, Kelly, Laís, Layara e Talita, que estiveram ao longo dessa caminhada na UFES, me proporcionando auxílio, compreensão e as melhores risadas.

E a todos, que direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferença entre hidrogramas de bacias naturais e bacias antropizadas 8
Figura 2: Diferentes usos e cobertura do solo e focos alteradores da qualidade da água em uma bacia hidrográfica. 9
Figura 3: Delimitação da área de estudo. 24
Figura 4: Hidrografia da Bacia do Rio Claro e pontos de monitoramento da qualidade da água 26
Figura 5: Pedologia da Bacia do Ribeirão Claro. 28
Figura 6: Mapa de altitudes médias da Bacia do Rio Claro. 30
Figura 7: Mapa de declividade da Bacia do Rio Claro. 31
Figura 8: Localização da Estação Agro-Meteorológica e das demais estações da ANA. 32
Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Claro. 34
Figura 10: Macrozoneamento do Município de Rio Claro-SP 36
Figura 11: Mapa de discretização com cinco sub-bacias à esquerda e com dezessete sub-bacias a direita. 39
Figura 12: Mapa de uso e ocupação do solo - Cenário Futuro otimista à esquerda e cenário futuro pessimista à direita. 41
Figura 13: Representação do cenário 1 no modelo SWMM. 46
Figura 14: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 1. 65
Figura 15: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 2. 66
Figura 16: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 3. 68
Figura 17: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 4. 69
Figura 18: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 5. 69
Figura 19: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 1 80
Figura 20: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 3 80
Figura 21: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 5 81
Figura 22: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 2 82

Figura 23: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 4 83
Figura 24: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 6 84
Figura 25: Comparação da geração de nutrientes (Fósforo total e nitrogênio total) por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de cinco sub-bacias. 85
Figura 26: Comparação da geração de sólidos (Sólido suspenso total e sólido dissolvido total) por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de cinco sub-bacias. 85
Figura 27: Comparação da geração de DBO e DQO por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de cinco sub-bacias. 86
Figura 28: Comparação da geração de Nitrogênio total por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias. 86
Figura 29: Comparação da geração de Fósforo total por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias. 87
Figura 30: Comparação da geração de sólidos suspensos totais por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias. 87
Figura 31: Comparação da geração de sólidos dissolvidos totais por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias. 88
Figura 32: Comparação da geração de DBO por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias. 88
Figura 33: Comparação da geração de DQO por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias. 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais impactos da urbanização 9
Tabela 2: Principais poluentes provenientes da poluição difusa 12
Tabela 3: Classificação hidrológica de solos brasileiros 19
Tabela 4: Valor de Curva Número 20
Tabela 5: Pontos de monitoramento da CETESB e variáveis analisadas 27
Tabela 6: Descrição dos tipos de solos encontrados na Bacia do Ribeirão Claro (continua) 28
Tabela 7: Total precipitado em mm para os anos considerados na série histórica ... 32
Tabela 8: Total precipitado em mm para os anos considerados na série histórica para as demais estações 33

Tabela 9: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 1 42
Tabela 10: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 2 42
Tabela 11: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 3 43
Tabela 12: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 4 43
Tabela 13: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 5 43
Tabela 14: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 6 44
Tabela 15: Concentração média no evento para diferentes poluentes e usos e ocupações do solo. 45
Tabela 16: Valores típicos de coefiente de Manning para canais naturais.....47
Tabela 17: Estudos utilizados para caracterização dos cursos d'água na Bacia do Ribeirão Claro 48
Tabela 18: Concentração de poluentes na água da chuva 49
Tabela 19: Resumo dos itens selecionados no SWMM para simulação.....49
Tabela 20: Volume médio anual de escoamento superficial (10^6 L) por sub-bacia para os cenários 1, 3 e 5.....51
Tabela 21: Volume médio anual de escoamento superficial (10^6 L) por sub-bacia para os cenários 2, 4 e 6.....53
Tabela 22: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 1 54
Tabela 23: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 2 55
Tabela 24: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 3 56
Tabela 25: Comparação em (%) de redução ou incremento em relação ao cenário 1 e 3 57
Tabela 26: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 4 58
Tabela 27: Comparação em (%) de redução ou incremento em relação ao cenário 2 e 4 58
Tabela 28: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 5 60
Tabela 29: Comparação em (%) de redução ou incremento em relação ao cenário 1 e 5 60

Tabela 30: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 6 62
Tabela 31: Comparação em (%) de redução ou incremento em relação ao cenário 1 e 5 62
Tabela 32: Erros de continuidade (%) obtidos para cada cenário 64
Tabela 33: Valores de coeficiente de rugosidade de Manning para diversas superfícies 79
Tabela 34: Altura das lâminas de água para armazenamento em depressões 79

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO....4
2. OBJETIVOS....5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA....5
3.1 Poluição hídrica....5
3.1.1 Poluição Difusa....6
3.2 Impactos da urbanização e poluição difusa....7
3.3 Principais poluentes provenientes da poluição difusa....11
3.4 Modelagem matemática da qualidade da água....12
3.4.1 O modelo computacional SWMM....15
3.4.1.1 Módulos descritores do ambiente....17
4. METODOLOGIA....24
4.1 Definição da área de estudo....24
4.2 Dados meteorológicos....31
4.3 Uso e ocupação do solo....33
4.3.1 Diretrizes do Plano Diretor de Rio Claro e Santa Gertrudes para a Bacia de Ribeirão Claro....35
4.4 Discretização das sub-bacias....39
4.5 Determinação dos cenários de uso e ocupação do solo....40
4.5.1 Representação das características da Bacia....45
4.5.1.1 Caracterização das Sub-bacias....46
4.5.1.2 Caracterização dos condutos....47
4.5.1.3 Caracterização dos nós....48
4.5.2 Caracterização dos poluentes....48
4.6 Cálculos realizados no modelo....49
5. RESULTADOS....50
5.1 Escoamento superficial na Bacia do Ribeirão Claro....50

5.1.1 Análise dos resultados obtidos para os cenários 50
5.2 Produção de cargas difusas na Bacia do Ribeirão Claro 54
5.2.1 Avaliação dos resultados obtidos para os cenários 54
5.3 Comparação entre as duas discretizações propostas 64
5.4 Avaliação da variação dos hidrogramas de um evento de cheia para os diferentes cenários 65
6. CONCLUSÃO 70
7. REFERÊNCIAS 71

1. INTRODUÇÃO

O controle da poluição dos recursos hídricos consiste em um dos grandes desafios para a humanidade. O incremento populacional e o crescimento de atividades econômicas são responsáveis pela diminuição da disponibilidade e deterioração da qualidade da água.

Poluição hídrica é resultante da introdução de poluentes, na forma de matéria ou energia, nos corpos d'água com consequentes prejuízos aos seres vivos e ao meio ambiente. O excesso de nutrientes, em especial o fósforo e nitrogênio, é responsável pelo aumento da proliferação de algas e, consequentemente, pela aceleração do processo de eutrofização em um corpo d'água. Aumento dos custos de tratamento de água, perda de valor estético, impedimento à navegação e recreação são alguns dos diversos problemas ocasionados pelo processo de eutrofização. (VON SPERLING, 2005)

O aporte de poluentes pode ser proveniente de fontes pontuais ou difusas. A primeira se refere àquela concentrada em um único ponto, como o lançamento de efluentes por uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes). A segunda, mais dificilmente avaliada, é advinda do escoamento superficial ou através da infiltração de poluentes em uma área da bacia hidrográfica.

Em países onde a questão de lançamento de efluentes por fontes pontuais já se encontra bem resolvida, o grande problema é a respeito das fontes de poluição difusa (VON SPERLING, 1996). Este tipo de poluição é um dos maiores contribuintes, quanto aos sedimentos, bactérias e cargas de nutrientes, nos ecossistemas aquáticos. (REIMOLD, 1998).

O processo de desenvolvimento urbano desordenado pode alterar parâmetros de quantidade e qualidade de água dos recursos hídricos. O aumento da impermeabilização do solo tem como consequências o aumento do volume de escoamento e maiores velocidades de escoamento, com consequente redução do tempo de concentração nas bacias hidrográficas urbanas e, por fim, ampliação das cheias.

Diante deste contexto, é imprescindível que haja o adequado planejamento urbano, através da proposição de diretrizes corretas para uma expansão planejada nas cidades. O Plano Diretor Urbano é o principal instrumento para a gestão urbana, a fim de promover usos compatíveis com a proteção ambiental.

A modelagem hidrológica é uma ferramenta que permite a antecipação de possíveis cenários, possibilitando a verificação dos impactos da urbanização de uma bacia antes que ela ocorra e a adoção de medidas preventivas.

O presente trabalho visa analisar o uso da modelagem de qualidade de água relacionada com fontes difusas através do modelo SWMM, para uma avaliação de diversos cenários de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica.

2. OBJETIVOS

Este estudo tem por objetivo analisar a influência do uso e da ocupação do solo, por meio da modelagem computacional, através da construção de cenários, na geração de escoamento superficial e carga de poluição difusa em uma bacia hidrográfica com uso misto (urbano e rural).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Poluição hídrica

A Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei Federal Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, define poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; Criem condições adversas às atividades sócias e econômicas; Afetem a biota e/ou as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Segundo Von Sperling (1996), a poluição das águas se refere à adição de substâncias ou de formas de energia que possam alterar a natureza do corpo hídrico de uma forma que prejudique os usos legítimos dos mesmos. Os poluentes são originários, principalmente, dos esgotos domésticos, dos despejos industriais e do escoamento superficial proveniente das áreas urbanas e rurais.

A poluição dos mananciais pode ser proveniente de fontes pontuais ou difusas. Na fonte pontual, os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço. Um exemplo é o lançamento de uma estação de tratamento de esgoto em um rio. Neste caso, a poluição é mais facilmente identificada e controlada. Já nas fontes difusas, os poluentes atingem o corpo hídrico de maneira distribuída ao longo de sua extensão. Um exemplo típico é a poluição proveniente da drenagem pluvial, podendo atingir toda a bacia hidrográfica, trazendo dificuldades na identificação e controle. Nos países desenvolvidos, há um grande foco na quantificação e controle da poluição difusa, visto que os lançamentos pontuais já foram equacionados. Segundo Von Sperling (1996), no Brasil ainda é há muito a se fazer em termos de controle de poluição por fontes pontuais. Contudo, é importante ressaltar que os dois tipos de poluição ocorrem de maneira simultânea na natureza, sendo assim, devem ser levadas em consideração na gestão dos recursos hídricos.

3.1.1 Poluição Difusa

Segundo D'Arcy et al (2000) poluição por fontes difusas é aquela advinda do uso e ocupação do solo (urbano e rural), que são dispersas dentro da bacia hidrográfica e que não são advindas de efluentes industriais ou efluentes de ETEs. A poluição ocasionada por essas fontes normalmente são intermitentes e ocorrem mais comumente durante eventos meteorológicos. Além disso, segundo Novotny e Olem (1994) o monitoramento dessas fontes é difícil de ser realizado, por vezes impossível. Os poluentes mais importantes na análise da poluição difusa, que devem ser controlados, são os sólidos suspensos, nutrientes e compostos tóxicos.

Porto (1995) ressalta que essas cargas difusas se destacam pela grande variabilidade na concentração dos poluentes lançados, de acordo com os eventos de precipitação e com o uso e a ocupação do solo na bacia estudada.

Algumas outras características são mencionadas por Novotny (1991) a respeito das fontes de poluição difusa: O lançamento da carga de poluição é intermitente, sendo relacionado aos eventos de precipitação; Muitas vezes, a origem da carga poluidora é dificilmente identificada, o que impede o monitoramento das mesmas; Os poluentes são transportados por extensas áreas; O controle deste tipo de poluição deve ser feito sobre a área geradora da carga poluidora, ao invés de avaliar apenas o controle no lançamento do efluente; É difícil estabelecer padrões de qualidade

para o lançamento de efluentes provenientes de poluição difusa, visto que existe uma série de variáveis, já mencionadas neste texto, que dificultam a correlação entre vazão e carga poluidora.

Tucci (2005) afirma que as principais fontes de acumulação de poluentes em áreas urbanas, que influenciam na poluição difusa são provenientes da deposição atmosférica, desgaste da pavimentação, veículos, restos de vegetação, poeira, resíduos sólidos, dejetos de animais, derramamentos e erosão. O acúmulo de sedimentos em superfícies impermeáveis pode ser representado como um equilíbrio dinâmico, visto que, durante o período seco há o acúmulo dos poluentes na superfície das bacias e, que com o início do evento de precipitação esses poluentes são carreados para os corpos hídricos.

Um termo importante para a avaliação da poluição difusa é a ocorrência da carga de lavagem (“first flush”), ou seja, a remoção inicial dos poluentes acumulados no período entre chuvas, significando que o pico do polutograma ocorreria antes do pico das vazões. Algumas pesquisas relatam que a ocorrência desse fenômeno pode estar relacionada com as perdas iniciais (rugosidade, estado de conservação da pavimentação, entre outros) do escoamento superficial. É mais frequente observar-se o fenômeno da carga de lavagem em bacias pequenas do que em bacias maiores (PORTO, 1993). Segundo Prodanoff (2005), após as décadas de 80 e 90, muitos estudos expandiram a teoria do first-flush para incluir a regra da “half-inch”. Essa regra diz que 90% dos poluentes são transportados durante a passagem da primeira meia-polegada de escoamento superficial (efetivo).

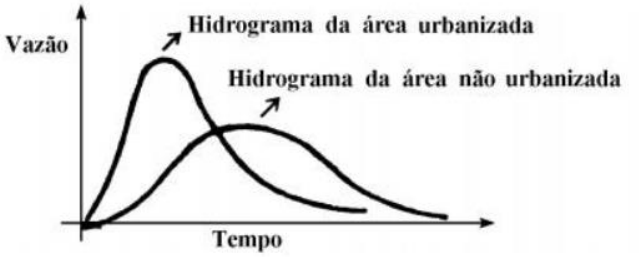
Para análise global do impacto da poluição difusa é importante calcular a Concentração Média do Evento (CME), que resume a relação entre a massa de poluente transportada em um volume de água escoado, ou seja, este fator representa a concentração ponderada de um poluente em um evento completo de enxurrada. Acredita-se que o tipo de uso do solo seja o fator mais importante que diferencie concentrações médias nos eventos (PRODANOFF, 2005).

3.2 Impactos da urbanização e poluição difusa

Com a urbanização e a impermeabilização do solo, o escoamento pluvial que antes era escoado lentamente no solo tendo uma parcela retida pelas vegetações

permitindo infiltração, ocorre de maneira mais intensa, com o aumento do pico de vazão, antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial, como apresentado pela Figura 1, que mostra os hidrogramas de bacias naturais e bacias antropizadas (TUCCI, 2008).

Figura 1: Diferença entre hidrogramas de bacias naturais e bacias antropizadas

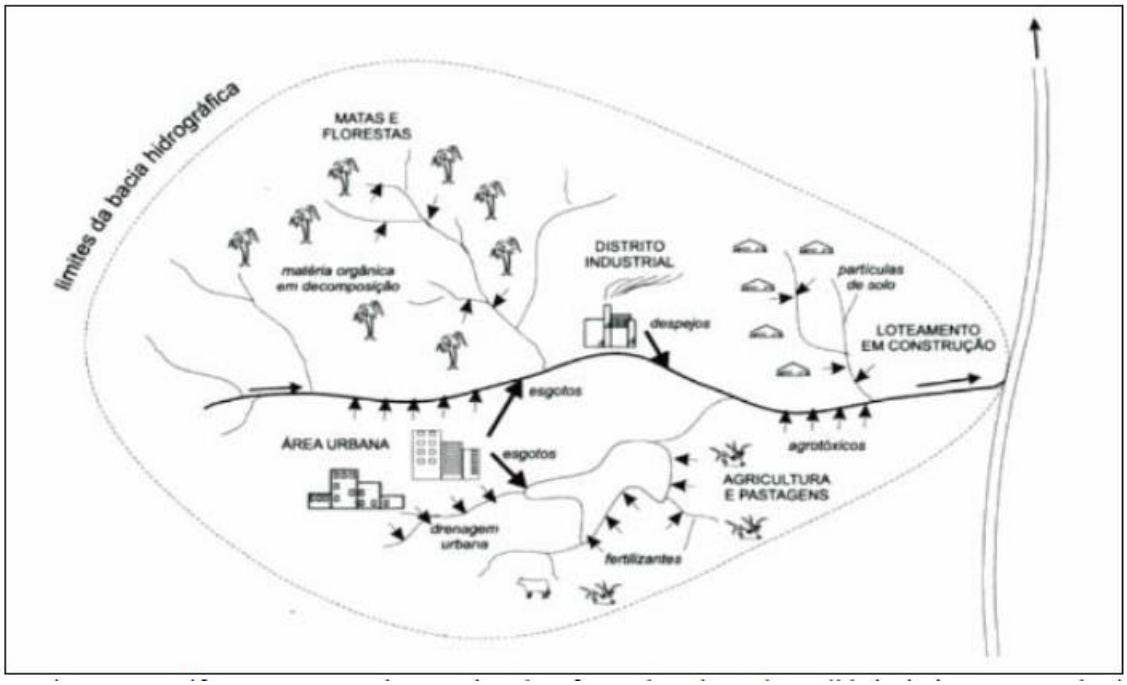


Fonte: Tucci, 2008.

Ao longo da história, o principal objetivo da drenagem urbana foi afastar dos centros populacionais o excesso das águas pluviais para diminuir os riscos de inundações e alagamentos. No entanto, a adoção de medidas estruturais com este objetivo não foi suficiente para lidar com os problemas da drenagem urbana. Atualmente, a drenagem urbana é vista como um problema com componentes políticos e sociológicos. (PORTO et al., 2001)

O tipo de ocupação do solo influencia diretamente na quantidade e qualidade do escoamento superficial. Por exemplo, áreas residenciais mais densas e consequentemente mais impermeabilizadas, geram escoamentos com grande força de arrasto. Além disso, a impermeabilização das áreas diminui a infiltração da água no solo, modificando o ciclo hidrológico. Como consequência, há o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, alterando o hidrograma na redução no tempo de pico e do escoamento de base, e aumento da vazão de pico (GARCIA, 2005). Sendo assim, a forma com que a população altera a cobertura do solo, implica diretamente na qualidade da água, seja através da remoção da vegetação, o que acelera os processos erosivos ou através da aplicação de fertilizantes e lançamentos de despejos. A Figura 2 apresenta as principais relações entre o uso e cobertura do solo em uma determinada bacia, apontando os principais alteradores da qualidade dos mananciais.

Figura 2: Diferentes usos e cobertura do solo e focos alteradores da qualidade da água em uma bacia hidrográfica.



Fonte: Von Sperling, 2005

Diversos outros impactos da urbanização podem ser citados, dentre eles: O aumento da produção de sedimentos; Modificação da qualidade dos corpos hídricos devido ao aporte de efluentes domésticos e industriais, como também resíduos sólidos; Redução das reservas de água no solo; Desenvolvimento de processos erosivos, entre outros. Porto et al. (1993) apresentou, de forma resumida, os principais impactos da urbanização e seus efeitos, que podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Principais impactos da urbanização (continua)

IMPACTOS	EFEITOS
Impermeabilização	Aumento da vazão de cheia; Diminuição da vazão de estiagem.
Redes de Drenagem	Maiores picos a jusante.
Lixo	Degradação da qualidade da água; Entupimento de bueiros e galerias.
Redes de esgotos deficientes	Degradação da qualidade da água; Moléstias de veiculação hídrica; Enchentes agravam os efeitos devido à contaminação da várzea de inundação.

Tabela 1: Principais impactos da urbanização (continuação)

IMPACTOS	EFEITOS
Desmatamento e Desenvolvimento Indisciplinado	Maiores picos e volumes; Mais erosão; Assoreamento em canais e galerias.
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos; Maiores picos; Maiores custos de utilidades públicas.

Fonte: Porto et al (1993)

Na área urbana há predominância de fontes pontuais de contaminação, tais como efluentes domésticos e industriais, de lixívias de aterros de resíduos sólidos. Já nas áreas rurais, predominam as fontes difusas, naturais ou antropogênicas, como drenagem das áreas agrícolas e pecuárias, drenagens de silvicultura e florestas. A poluição resultante de fontes difusas naturais, geralmente não provocam grandes inconvenientes, somente se estas forem intensificadas por ações antrópicas, como por exemplo, na alteração da dinâmica do processo de erosão. (DEUS et al, 2001)

A solução clássica para os problemas relacionados à drenagem procura remover, da forma mais rápida e eficiente possível, a água dos centros urbanos. Para tal, são realizadas obras de hidráulica como construção de redes de drenagem, canalizações e retificações de corpos d'água, construção de galerias, dentre outras. No entanto, à medida que a área urbana se desenvolve faz-se necessário um remodelamento dos sistemas de drenagem para adequação ao novo hidrograma de cheias da bacia. Desta forma, essa abordagem clássica, não apresenta medidas definitivas e sustentáveis, pois resolvem o problema de cheia em uma área através da transferência deste problema para uma região à jusante, exigindo redimensionamentos das redes e custos cada vez mais altos.

A solução para os problemas decorrentes da urbanização, como o aumento da drenagem e das cargas poluidoras, é o disciplinamento da ocupação urbana, observando a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos e os riscos de inundação. Sendo assim, é necessário avaliar os impactos de diferentes condições de urbanização de uma área sobre o escoamento. Os principais cenários identificados quanto ao desenvolvimento urbano são: Condição atual da

urbanização; Cenário previsto no Plano Diretor Urbano e; Cenário de ocupação máxima (PORTO et al., 2001).

Preuss et al. (2011) sugerem a conciliação de medidas estruturais (obras hidráulicas tradicionais), não-estruturais (instrumentos de gestão), e medidas compensatórias (estratégias de amortecimento ou infiltração das águas de cheia) para a drenagem urbana. Dentre as medidas compensatórias pode-se citar a renaturalização dos cursos d'água e adoção de técnicas para controle da produção do escoamento na fonte (telhados armazenadores, jardins de chuvas), no sistema viário (valas de infiltração, pavimentos permeáveis) e a jusante (bacias de detenção e infiltração).

Parkinson (2003) ressalta que esse novo modelo de drenagem urbana incorpora preceitos como evitar transferir os impactos para áreas à jusante, não permitir que novos empreendimentos aumentem a vazão de pico (controle de vazão de saída) e que o planejamento da bacia deve incluir aspectos de controle de volume de águas pluviais.

3.3 Principais poluentes provenientes da poluição difusa

D'Arcy et al (2000) avaliaram os principais poluentes provenientes da poluição difusa (Tabela 2). Compostos químicos, tanto inorgânicos (metais, por exemplo) como orgânicos (Hidrocarbonetos e solventes), são os poluentes mais sérios no escoamento de áreas urbanas. Enquanto que, sedimentos, nutrientes e pesticidas são os contaminantes mais influentes em áreas rurais.

Entre os principais contaminantes estão os organismos patogênicos, fertilizantes, sólidos suspensos e sedimentáveis, elementos traços, carga orgânica, nutrientes e perturbadores endócrinos. (DEUS et al, 2001)

Tabela 2: Principais poluentes provenientes da poluição difusa

Poluente	Exemplo de fonte	Problema ambiental
Óleo e hidrocarbonetos	Oficina de carro, depósito de óleo, escoamento de rodovias	Toxicidade, contaminação dos sedimentos urbanos, contaminação da água subterrânea ou superficial
Solventes	Limpeza de pátios industriais, conexões ilegais de efluentes industriais	Toxicidade, contaminação da água subterrânea ou superficial
Pesticidas	Agricultura	Toxicidade, contaminação da água subterrânea ou superficial
Sólidos Suspensos	Escoamento de áreas abertas, erosão, acúmulo de sólidos em superfícies impermeáveis	Carregamento de nutrientes e compostos tóxicos, sedimentação de rios
Nitrogênio	Fertilizantes agrícolas, emissões do tráfego, deposição atmosférica	Eutrofização, acidificação, aumento dos custos de tratamento de água
Fósforo	Erosão do solo, fertilizantes, contaminação do escoamento urbano (detergentes, materiais orgânicos)	Eutrofização, aumento dos custos de tratamento de água
Metais tóxicos	Escoamento urbano, industrias	Toxicidade

Fonte: Adaptado de D'Arcy et al (2000)

3.4 Modelagem matemática da qualidade da água

Modelos matemáticos objetivam representar a realidade tal como é observada ou medida, porém dificilmente são capazes de representar a realidade com toda a complexidade das múltiplas interações em um sistema ambiental. (VON SPERLING, 2007). Segundo Yassuda et al (2000), os modelos numéricos são importantes dispositivos de apoio para tomadas de decisões gerenciais. A aplicação de modelos hidrológicos e hidráulicos permite a simulação de cenários futuros, possibilitando a solução de possíveis impactos. (GARCIA, 2005).

Segundo Rennó (2002), um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo da água sobre parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. Estes procuram simular o percurso da água desde a precipitação até a saída da água do sistema, seja por escoamento através do seu exutório, seja por evapotranspiração. A escolha de um determinado tipo de modelo deve ser feita com base na aplicação que se deseja e na disponibilidade de dados

básicos. É necessário que haja um constante aperfeiçoamento das técnicas de modelagem a partir do desenvolvimento tecnológico com o objetivo de quantificar e reduzir as incertezas. Além disso, a intensificação do monitoramento hidrológico fornece subsídios à modelagem.

A seguir são apresentadas descrições sucintas de alguns modelos hidrológicos que simulam o escoamento superficial e a contribuição de cargas difusas para usos e ocupações do solo urbanos e rurais. Na seção subsequente será apresentado o modelo hidrológico SWMM utilizado no presente trabalho.

- Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model (STORM)

O STORM foi criado em 1973 pela Water Resources Engineers, Inc. (WRE). Este modelo permite simular o volume de escoamento superficial, derretimento de neve, vazões de tempo seco e outros, tanto para simulação contínua quanto para eventos únicos. A simulação do escoamento pode ocorrer através da inserção dos coeficientes de escoamento ou pelo método do SCS. O STORM vale-se de dois métodos para o cálculo da acumulação de poluentes: o método “dust and dirt” e o método de acumulação diária (HEC, 1977). Uma limitação do modelo é que utiliza dados horários de precipitação e há apenas a distribuição de seu código fonte.

- Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS)

Foi desenvolvido pelo United States Department of Agriculture (USDA) em 1980. Este modelo tem ênfase na predição de escoamento superficial, erosão e transporte de componentes químicos, visando o manejo de sistemas agrícolas. Requer como dados de entrada as séries de precipitação, temperatura, radiação solar, dados do solo e das culturas. Segundo Arheimer e Olsson. (2003) o CREAMS se divide em três componentes principais. O componente hidrológico é responsável por estimar o volume do escoamento, a vazão de pico, a infiltração, as perdas por evapotranspiração, o conteúdo de água no solo e a percolação. O componente erosão/sedimentação calcula a capacidade de transporte de sedimento pelo escoamento superficial, a distribuição do diâmetro das partículas. E por fim, o componente químico modela os pesticidas e nutrientes utilizados na agricultura.

- Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA)

Foi desenvolvido pela Universidade de Purdue, Indiana, Estados Unidos em 1986. Este modelo é integrado ao SIG Arcview e tem como principal objetivo quantificar as variações no escoamento superficial e na produção de cargas difusas provenientes de mudanças de uso e ocupação do solo. O modelo parte de relações empíricas entre precipitação e escoamento (Método SCS) para quantificar a variação do volume do escoamento superficial a partir das mudanças de uso e ocupação do solo. O modelo permite simulações continuas (dados diários de precipitação, por pelo menos 30 anos) ou discretas. A estimativa das cargas difusas se baseia no método de concentração média no evento (EMC). Engel (2005) cita que o L-THIA se baseia em técnicas simples, ao contrário dos modelos tradicionais que requerem uma grande quantidade de dados de entrada. Algumas simplificações são realizadas, como: Desconsidera a ocorrência de neve; não considera as variações na condição antecedente de umidade do solo; não avalia o escoamento de base e nem perdas por evapotranspiração.

- Agricultural Nonpoint Source Pollution Model (AGNPS)

O AGNPS foi desenvolvido pelo US Departament of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA – ARS). Segundo Young et al (1989) o AGNPS é um modelo que se destina a estimar nutrientes, sedimentos e pesticidas presentes no escoamento superficial e comparar os efeitos das boas práticas de manejo, primordialmente no uso agrícola. A simulação pode ser executada para eventos únicos ou para séries históricas com dados diários de precipitação. A bacia é dividida em sub-bacias (células). Com este modelo é possível obter volume do escoamento e vazão de pico, carga de sedimentos através da estimativa da erosão, os nutrientes, entre outros.

- Soil Water and Analysis Tools (SWAT)

O SWAT é um modelo físico que foi desenvolvido em 1990 pelo US Department of Agriculture (USDA). Como principal objetivo esta a análise dos impactos relativos às práticas de manejo agrícola sobre os recursos hídricos e sobre a produção de contaminantes. A simulação hidrológica é dividida na fase de aporte dos contaminantes ao canal principal e na fase de direcionamento dos contaminantes

pelos canais (NEITSCH et al., 2005). Como limitações é possível citar que o modelo simula apenas através de dados diários de precipitação, não encaminha mais de um pesticida através da rede de canal da bacia hidrográfica, não simula inundações em termos de eventos específicos e, também apresenta dificuldades em modelar a erosão devido ao degelo (NEITSCH et al., 2005).

3.4.1 O modelo computacional SWMM

O modelo Storm Water Management Model (SWMM) foi desenvolvido em 1971 pela US-EPA (United States Environmental Protection Agency) e atualmente se encontra na versão 5.0. É um programa computacional que pode analisar o impacto do escoamento superficial e avaliar a efetividade de estratégias de mitigação. Optou-se pela utilização desse software para avaliação do objetivo deste estudo pelo fato de que, além de ser um modelo que permite a quantificação do escoamento juntamente com a carga da poluição difusa em cada sub-bacia, diversos estudos demonstram um bom comportamento do modelo SWMM em avaliações de uso e ocupação do solo.

Segundo o Manual do usuário EPA SWMM 5.0 – Modelo de gestão de drenagem urbana (2010) o SWMM é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas. O componente do escoamento superficial opera com uma série de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamentos e cargas poluidoras. É utilizado em várias partes do mundo para projetos de drenagem de águas pluviais, sistemas coletores de águas residuais, dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios para o controle de inundações, delimitação de zonas de inundação em leitos naturais, geração de poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes (carga de contaminantes).

O SWMM contempla vários processos hidrológicos que produzem e modificam o escoamento como: Precipitações variáveis no tempo; evaporação de águas empoçadas; acumulação e degelo da neve; interceptação de precipitações por armazenamento em depressões; infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas; percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos; troca de fluxo entre os aquíferos e o sistema de drenagem; modelagem do fluxo superficial por meio de reservatórios não-lineares. Além de modelar a geração e transporte do

escoamento superficial, o SWMM também pode estimar a produção e a evolução de cargas poluentes associadas ao tipo de escoamento, como exemplo: Acumulação do poluente durante o tempo seco, para diferentes usos do solo; Lixiviação do agente poluente como função do tipo de uso do solo; contribuição direta decorrente da própria chuva; redução da poluição acumulada devido à limpeza da rua (ROSSMAN, 2010).

Bertoni (1998) aplicou o modelo SWMM em uma bacia urbana no Estado de Santa Fé, Argentina. O objetivo do autor era comparar os resultados da simulação de uma cheia urbana sob condições de registros escassos com as informações de uma cheia histórica, adotando parâmetros recomendados em literatura. Por fim, chegou-se a conclusão de que as simulações do modelo apresentaram resultados satisfatórios para a representação das cheias.

Garcial et al. (2004) avaliou três discretizações distintas para melhor representação da bacia no modelo SWMM (bacia concentrada, sete sub-bacias e onze sub-bacias). Como resultado, observou que as bacias discretizadas proporcionaram uma melhor representatividade dos processos hidráulicos e hidrológicos ocorridos na região. Porém, não obteve diferenças significativas entre os dois tipos de discretização (sete e onze sub-bacias).

Collodel (2009) aplicou o modelo SWMM para avaliar diferentes níveis de detalhamento necessários para calibração do modelo na bacia do Córrego Gregório, São Carlos (SP). Para a bacia de estudo, os resultados obtidos mostraram a importância da consideração da microdrenagem na representação dos sistemas, bem como, ressaltou a influência das áreas impermeáveis sobre os hidrogramas de cheias.

Aprígio (2012) utilizou o modelo SWMM para simular a poluição difusa gerada na bacia do Córrego do Mineirinho, São Carlos (SP), para diversos cenários de uso e ocupação do solo. Além disso, simulou os mesmos cenários com o auxilio do modelo L-THIA e por fim realizou uma comparação entre os resultados obtidos pelos dois modelos. De maneira geral, o SWMM sobrestimou os resultados do L-THIA.

Rocha (2013) realizou a modelagem da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, Goiânia (GO), para diferentes cenários de impermeabilização do solo. Como

resultado, obteve que a bacia é suscetível a apresentar grandes variações hidrológicas caso o processo de impermeabilização continue aumentando, chegando a se tornar inviável para o abastecimento público caso atinja um nível superior a 50% de área impermeável. Além disso, com o auxilio do modelo a autora propôs a construção de um parque linear ao longo do córrego e a adoção de novos índices de ocupação urbana.

Luan et al (2017) usou o SWMM para avaliar a efetividade de diversas medidas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) na redução do escoamento superficial urbano em uma região montanhosa de Fragrance Hills, em Pequim, China. Os autores encontraram que as medidas LID são efetivas no controle do escoamento superficial dos eventos de precipitação com períodos de retorno menores que cinco anos. Sendo assim concluíram que, em uma região montanhosa, caracterizada por grande pressão dos eventos de cheia, seria necessária a adoção de medidas estruturais, incluindo projetos de conservação de água e construção de infraestruturas, combinadas com medidas não estruturais.

3.4.1.1 Módulos descritores do ambiente

Segundo Rossman (2010), o SWMM simula o comportamento da drenagem através de fluxo de água e matéria entre os módulos descritores do ambiente. São estes: O módulo atmosférico, a partir do qual ocorre a precipitação e deposição de poluentes sobre a superfície do solo; O módulo de superfície do solo, após a ocorrência da precipitação, este módulo exporta o fluxo de água por meio de infiltração para o módulo de águas subterrâneas e, por meio de escoamento superficial e carreamento de poluentes para o módulo de transporte; O módulo de Águas Subterrâneas, que recebe a infiltração do módulo de Superfície do Solo e transfere uma parte da mesma, como fluxo de entrada, para o módulo de Transporte e; O módulo de transporte, que contém os elementos de transporte (canais, tubulações) e unidades de armazenamento e tratamento, no qual o fluxo de entrada é proveniente do escoamento superficial, da interação com o fluxo subterrâneo, do escoamento de águas residuárias, ou de hidrogramas de entrada.

O modelo SWMM permite a divisão da bacia em sub-bacias com o objetivo de melhorar a representação das características comuns. Essas sub-bacias são unidades de terreno cuja topografia e elementos do sistema de drenagem conduzem

o escoamento para um único ponto de descarga. Estas são divididas em áreas permeáveis e impermeáveis. Além disso, as áreas impermeáveis podem ser divididas em áreas que contém o armazenamento em depressão e as que não contem. O escoamento superficial ocorre quando a profundidade da água do reservatório é maior do que o valor máximo do armazenamento. A infiltração da chuva na camada não saturada do solo da área permeável pode ser descrito de três formas: O modelo de infiltração de Horton; o modelo de infiltração de Green-Ampt; e o método baseado na Curva Número do SCS. De acordo com Costa (2013), por requerer menor quantidade de dados de entrada para cálculo da vazão, o método do SCS tem sido largamente utilizado, visto que os métodos de Horton e Green-Ampt exigem dados detalhados sobre o solo, que dificilmente estão disponíveis em áreas urbanas.

Segundo Porto (1991), a etapa inicial para a aplicação do método SCS é a escolha da saturação do solo de acordo com as seguintes condições de umidade antecedente do solo: Condição I (solos secos – as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm); Condição II (situação média na época das cheias – as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm); Condição III (solo úmido, próximo à saturação – as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação). Com o objetivo de facilitar a aplicação desta metodologia, Sartori et al. (2005) definiram uma classificação de quatro grupos hidrológicos de solos de acordo com as características hidrológicas dos solos brasileiros, apresentados na Tabela 3. ASCE (1992) não encoraja o uso do método SCS para bacias rurais pequenas com eventos de precipitação menores que 24h de duração, pois nesses casos, não há consideração do efeito da intensidade da chuva em volume de escoamento.

Tabela 3: Classificação hidrológica de solos brasileiros

Grupo Hidrológico A
Características: Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; Solos de textura média; Solos bem drenados ou excessivamente drenados; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil; Tipos de Solos: LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO.
Grupo Hidrológico B
Características: Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; Solos porosos; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil; Tipos de Solos: LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO OU VERMELHO AMARELO.
Grupo Hidrológico C
Características: Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; Comumente apresentam mudança textural abrupta; A textura nos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta, arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa. Tipos de solos: ARGISSOLO pouco profundo, ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÚMICO, ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.
Grupo Hidrológico D
Características: Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão; Solos orgânicos Solos rasos, associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade; Tipos de solos: NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLITOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTO DE ROCHA; CAMBISSOLOS; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Fonte: Adaptado de Sartori et al. (2005)

A Tabela 4 apresenta o CN específico para cada uso e ocupação do solo relacionada com cada classe hidrológica do solo (ROSSMAN, 2010).

Tabela 4: Valor de Curva Número

	Classes hidrológicas do solo – NRCS			
Descrição do uso da terra	**A**	**B**	**C**	**D**
Terra cultivada				
• Sem Tratamento para conservação	72	81	88	91
• Com Tratamento para conservação	62	71	78	81
Pastagem				
• Condição ruim	68	79	86	89
• Condição boa	39	61	74	80
Campo				
• Condição boa	30	58	71	78
Floresta				
• Densidade baixa, coberturas pobres, sem cobertura	45	66	77	83
• Boa cobertura	25	55	70	77
Espaços abertos, gramados, parques, campos de golfe, cemitérios e etc.				
• Condição boa: cobertura de grama em 75% ou mais da área	39	61	74	80
• Condição justa: cobertura de grama em 50-75% da área	49	69	79	84
Áreas comerciais de negócios (85% impermeáveis)	89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeáveis)	81	88	91	93
Residencial – Tamanho médio do lote (% impermeáveis)				
• 0,05ha ou menos (65)	77	85	90	92
• 0,1ha (38)	61	75	83	87
• 0,13ha (30)	57	72	81	86
• 0,2ha (25)	54	70	80	85
• 0,4ha (20)	51	68	79	84
Estacionamentos pavimentados, telhados, calçadas, etc	98	98	98	98
Rua e estradas				
• Pavimentada com meio fio e drenagem	98	98	98	98
• Em cascalho	76	85	89	91
• Sujas	72	82	87	89

Fonte: Adaptado Rossman (2010)

O acúmulo e o arraste de poluentes em uma sub-bacia são associados aos usos do solo especificados para aquela sub-bacias. Os principais parâmetros de entrada para caracterização das sub-bacias são: os usos do solo atribuídos; área, porcentagem de área impermeável; declividade; largura característica do fluxo superficial; o coeficiente de Manning para o fluxo superficial (áreas permeáveis e impermeáveis); o armazenamento em depressão (áreas permeáveis e impermeáveis) e; a porcentagem do solo impermeável isenta de armazenamento em depressão.

As saídas do módulo de escoamento são usadas como entrada no módulo de transporte, através dos elementos da drenagem (nós e condutos). Os nós são elementos da drenagem onde se conectam diferentes trechos entre si. Os principais

parâmetros de entrada em um nó de conexão são: Cota do Radier (cota de fundo) e; profundidade do radier em relação ao terreno. (ROSSMAN, 2010).

Os condutos são tubulações ou canais que transportam água de um nó para outro. As seções transversais dos condutos podem ser definidas pelo usuário. O SWMM emprega a equação de Manning para estabelecer a relação entre a vazão que escoa pelo conduto, a área da seção transversal, o raio hidráulico e a declividade, tanto para canais abertos, como para condutos fechados parcialmente cheios. Os principais parâmetros de entrada são: Comprimento do conduto; coeficiente de Manning; offset do nó de entrada e de saída; geometria da seção transversal; coeficientes de perdas (opcional); presença de dispositivos de retenção (opcional).

Segundo Rossman (2010), o transporte de água no conduto é calculado pelas equações de Saint Venant, segundo o método de Euler modificado. Cabe ao usuário selecionar o nível de sofisticação para a resolução destas equações. Os três modelos hidráulicos de transporte são descritos a seguir.

- Fluxo em Regime Uniforme

É a forma mais simples para representação do transporte da água. Sendo assim, para cada intervalo de tempo de cálculo considera-se o escoamento uniforme e permanente. Para relacionar a vazão com a área e profundidade do conduto utiliza-se a equação de Manning. Este modelo só pode ser utilizado em sistemas ramificados, onde cada nó apresenta somente um único conduto de saída. Além disso, somente é apropriado para realizar análises preliminares utilizando simulações contínuas de longo prazo (ROSSMAN, 2010).

- Onda Cinemática

Este modelo permite que a vazão e a área variem no espaço e no tempo no interior de um conduto. No entanto, neste modelo ainda não se podem simular efeitos como o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas, o efeito de remanso ou o fluxo pressurizado. Segundo Rossman (2010), modelo da onda cinemática é uma alternativa suficientemente precisa e eficiente para o modelo de transporte com tempos longos de simulação. Seu funcionamento se dá pela equação da continuidade junto com uma simplificação da equação de quantidade de movimento em cada um dos condutos.

- Onda Dinâmica

O modelo resolve as equações completas de Saint Vernant, portanto, gera resultados mais precisos. Sendo assim, pode levar em consideração o armazenamento nos condutos, o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas dos condutos, o remanso e o fluxo pressurizado. Pode ser aplicado para qualquer traçado da rede de drenagem.

Para a modelagem da qualidade de água no interior de um conduto, o SWMM considera que este se comporta como um tanque de mistura com fluxo permanente. A concentração de um poluente no final de um conduto, em um determinado instante, é dada mediante a integração da equação de conservação de massa, usando valores médios para as grandezas que variam ao longo do tempo (vazão e volume de água no conduto). As informações necessárias para a caracterização dos poluentes são: Identificação do poluente; concentração do poluente nas precipitações; concentração dos poluentes na água subterrânea; concentração do poluente nos processos de entrada direta ou de infiltração, e; coeficiente de decaimento para a reação de primeira ordem. Além disso, a modelagem da qualidade da água permite definir copoluentes, ou seja, a concentração de um poluente está associada à concentração de outro poluente. A acumulação e lixiviação de agentes poluentes são determinadas a partir dos usos do solo atribuídos às áreas.

Os usos do solo se referem às atividades desenvolvidas ou características superficiais do solo atribuídas às sub-bacias. Para cada tipo de uso de solo é importante definir os parâmetros de acúmulo e lixiviação de poluentes. Além disso, o SWMM permite a inserção de dados de limpeza das ruas.

A acumulação de poluentes é descrita como a massa do poluente por unidade de área acumulada nas sub-bacias ou por unidade de comprimento do meio fio. A quantidade de poluente acumulada na bacia é função do número de dias sem precipitação antecedentes à chuva e pode ser expressa por meio de uma função potencial (acúmulo é proporcional ao tempo elevado a uma potência, até atingir um máximo) ou, função exponencial (acúmulo é exponencial, com o limite máximo dado por uma assíntota) ou a função saturação (No início, o acúmulo apresenta taxa de crescimento linear, que diminui com o tempo até um valor de saturação). Para a caracterização da lixiviação é possível usar a função exponencial, onde a carga poluente é proporcional ao produto da vazão, elevada a uma potência, pela

quantidade de agente poluente ainda acumulado; ou por meio de uma curva de taxa de lixiviação, onde a taxa de lixiviação é proporcional à vazão do escoamento, elevado a uma potência; ou ainda, a partir da concentração média no evento, uma especificidade do caso anterior, em que a potência a que se eleva a vazão é igual a 1. Para este caso é importante ressaltar que não há necessidade de modelar nenhuma acumulação do poluente (ROSSMAN, 2010).

O modelo SWMM permite a inserção de dados de calibração ao projeto, de forma que possam ser comparados os resultados da simulação com os valores realmente medidos, através dos gráficos de séries temporais. Esses dados são inseridos em formato de arquivo de texto e devem ser salvos junto ao projeto. Podem ser utilizados arquivos distintos para cada um dos parâmetros: Escoamento superficial em uma sub-bacia; Lixiviação de agentes poluentes em uma subbacia; Escoamento subterrâneo; Níveis simulados do aquífero; Nível de água em um nó; Fluxo de entrada lateral em um nó; Alagamento em um nó; Qualidade da água em um nó, e; Vazão em um trecho.

Para visualização dos resultados da simulação é possível observá-los através de relatórios, planilhas, mapas, gráficos e acompanhamentos dinâmicos para cada item da modelagem (sub-bacias, canais ou nós). A experiência com o modelo mostra que as simulações de quantidade ajustam-se bem aos dados medidos. Já a simulação da qualidade é especialmente fraca na representação fidedigna dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na natureza, tornando-o um exercício de calibração (DONIGIAN & HUBER, 2011). Dessa forma, é possível observar que o SWMM é um modelo complexo que exige grande quantidade de dados de entrada, mas que vem sendo muito utilizado na simulação da quantidade e qualidade do escoamento superficial, principalmente, em áreas urbanas.

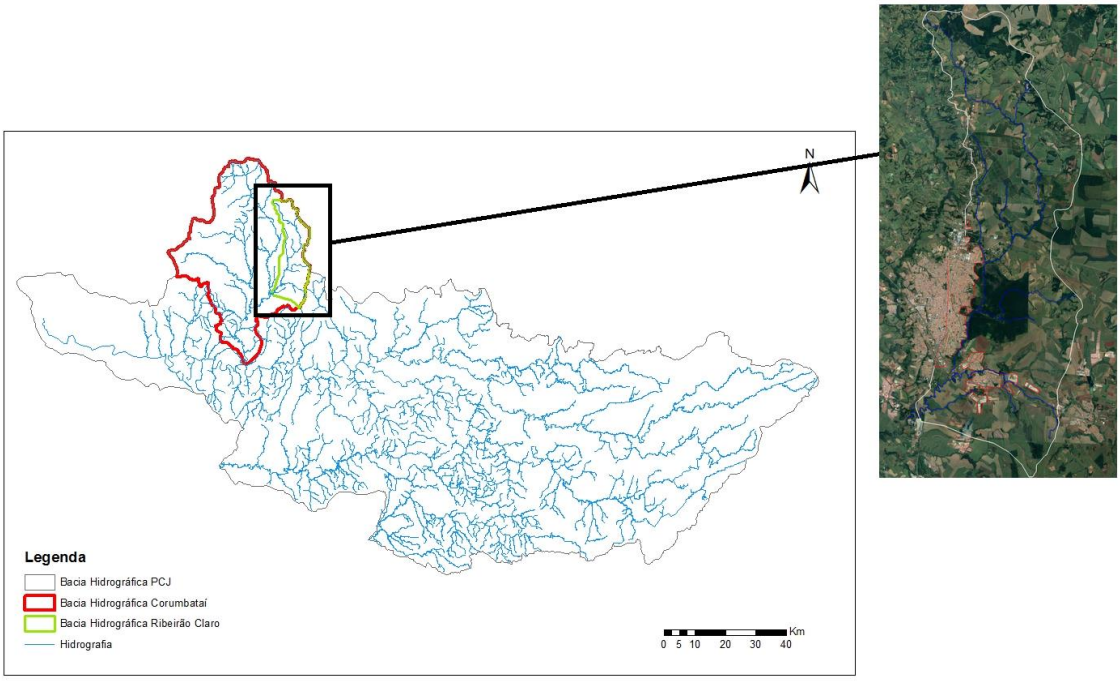
4. METODOLOGIA

4.1 Definição da área de estudo

A definição da área de estudo foi realizada em função da disponibilidade de informações necessárias para utilização do modelo SWMM. Além disso, a bacia foi escolhida para a avaliação da poluição difusa por ser uma região de intenso crescimento urbano e que possui uma grande diversidade de usos e ocupações do solo.

O estudo foi realizado na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Claro, que é o principal tributário, na sua margem esquerda, do Rio Corumbataí, que, por sua vez, pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 5 - conhecida como Piracicaba/Capivarí/Jundiaí. A localização da área de estudo e suas respectivas zonas urbanas podem ser observadas na Figura 3. A bacia possui área 271,86 km² e perímetro 94,21 km. A diferença entre a cota mais baixa e mais alta da bacia é 276,13 m. Segundo Cerri (1999), o Ribeirão Claro se origina no planalto de Urucaia, em terrenos de arenitos porosos e bons fornecedores de água da formação Botucatu, na divisa com o município de Corumbataí. Para a confecção dos mapas a seguir o Datum empregado foi o SIRGAS 2000, com projeção UTM, fuso 23.

Figura 3: Delimitação da área de estudo.



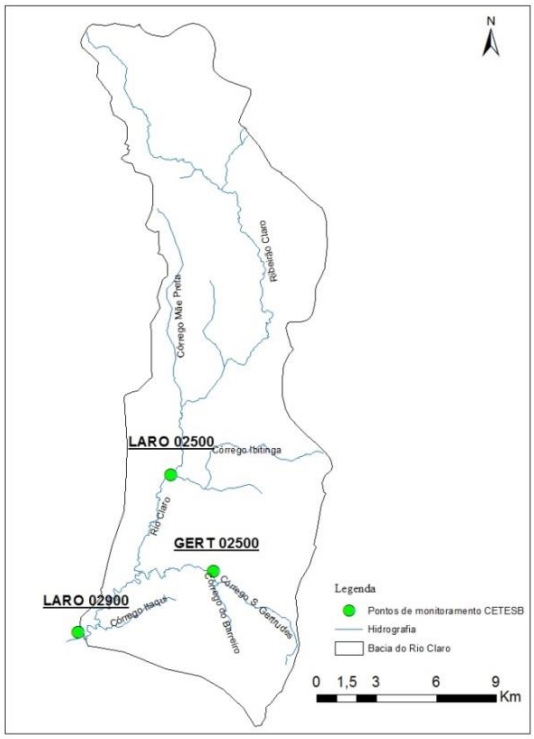
Fonte: Autoria própria.

Tavares & Silva (2008) classificam o clima da região como Tropical com precipitações concentradas nos meses de janeiro a março. As temperaturas médias anuais estão entre 18,1° e 20,9°C com uma pluviosidade de 1.476,1 mm anuais. De acordo com a classificação climática de Köppen o município de Rio Claro tem clima do tipo Cwa, caracterizado como clima tropical de altitude, com chuva no verão e seca no inverno, e temperatura média do mês mais quente superior a 22ºC (CEPAGRI, 2018). A região a montante da bacia apresenta grandes áreas com agricultura e pastagens e, na porção à jusante, se localizam as áreas urbanas de Rio Claro e Santa Gertrudes.

Hardt (2009) ressalta que o Ribeirão Claro representa um importante manancial de abastecimento de recursos hídricos para o município de Rio Claro. Além disso, toda a área de sua bacia está localizada na zona de conservação hídrica da Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí.

A hidrografia da região, com os principais rios pode ser observada na Figura 4. O Diagnóstico ambiental e desenvolvimento de sistemas de implementações de projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água através de análises constatou que, em muitos cursos d’água, há um grande estado de degradação ambiental (ECOSBIO, 2014). Os principais impactos que podem ser citados são: Alto nível de assoreamento; pouca vegetação ciliar; falta de isolamento; compactação do solo e; pressão antrópica.

Figura 4: Hidrografia da Bacia do Rio Claro e pontos de monitoramento da qualidade da água



Fonte: Autoria própria

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Rio Claro (2014), na etapa de diagnóstico da drenagem, cita que alguns canais estão assoreados pela deposição de detritos no fundo do vale e em virtude da existência de obstruções devido às pontes, bueiros, vigas e excesso de vegetação no fundo dos taludes naturais. Essas condições contribuem para a retenção de detritos e diminuição da velocidade do fluxo no leito do canal (NOVAES, 2014). Fonseca (2008) cita que, ao passar pela zona urbana de Rio Claro, o Ribeirão Claro recebe efluentes domésticos e industriais. Ao longo deste curso d'água, existem diversos pontos de captação com a finalidade de irrigação e até mesmo de abastecimento.

Cunha (2009) constatou boa conservação de matas ciliares da zona de montante até o médio curso do Ribeirão Claro, onde se localiza a Floresta Estadual "Edmundo Navarro de Andrade" (FEENA). Entretanto, do médio curso até a jusante, foi verificada a influência da ampliação das áreas urbanas (Jardim Conduta, Bairro Mãe Preta e Vila Cristina) na degradação das matas ciliares, além da presença de agricultura e pastagens às margens dos afluentes do Ribeirão Claro.

Desde 2010, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) realiza monitoramento de variáveis de qualidade da água. As estações, suas localizações e as variáveis amostradas são observadas na Figura 4 e Tabela 5.

Tabela 5: Pontos de monitoramento da CETESB e variáveis analisadas

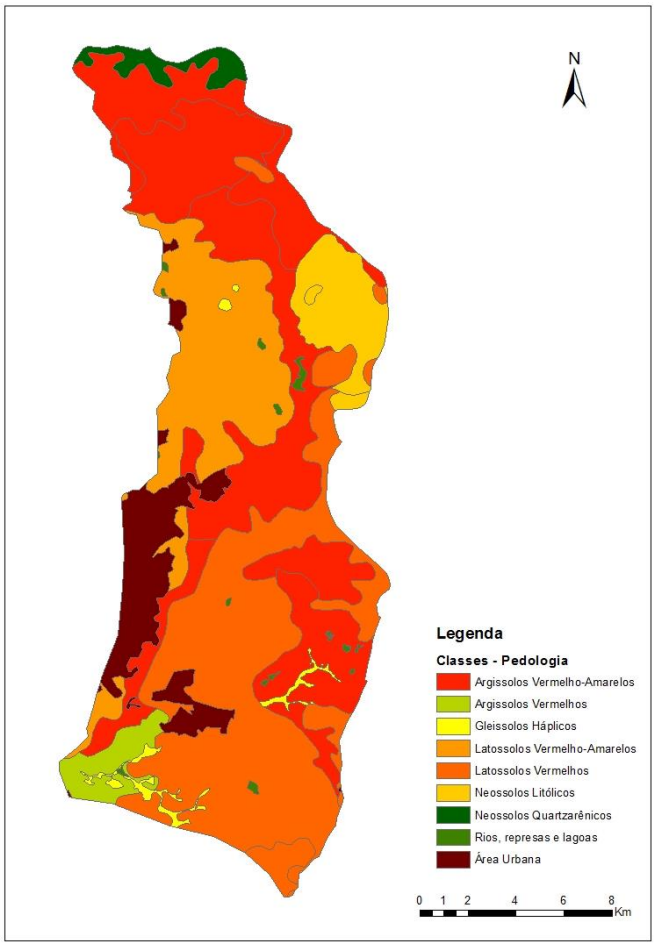
Corpo hídrico	Nome da estação	Localização	Variáveis analisadas
Ribeirão Claro	LARO 02500	Na captação ETA I de Rio Claro, próximo do horto florestal	Coloração, condutividade, OD, pH, Temperatura, alcalinidade, parâmetros químicos (Alumínio, arsênio, boro, chumbo e etc), cor, DBO, DQO, série nitrogênio, série sólidos, fósforo total, parâmetros microbiológicos.
	LARO 02900	Na ponte próxima à foz, no Rio Corumbataí, no Distrito de Assistência	Coloração, condutividade, OD, pH, Temperatura, parâmetros químicos (Alumínio, boro, chumbo e etc), cor, DBO, dureza, série nitrogênio, série sólidos, fósforo total, parâmetros microbiológicos.
Santa Gertrudes	GERT 02500	Na captação de Santa Gertrudes	Coloração, condutividade, OD, pH, Temperatura, parâmetros químicos (Alumínio, bário, chumbo e etc), cor, DBO, dureza, série nitrogênio, série sólidos, fósforo total, parâmetros microbiológicos.

Fonte: Adaptado CETESB

Para elaboração dos mapas expostos a seguir, o procedimento utilizado consistiu na técnica de compilação, providenciado pelo georreferenciamento executado em ambiente digital - software ArcGIS 10.2. A base cartográfica digital georreferenciada utilizada está na escala 1:10000.

A Figura 5 apresenta os tipos de solo que podem ser identificados na área da bacia do Ribeirão Claro. Este mapa foi baseado no trabalho do Instituto Florestal do ano de 2017 (ROSSI, 2017). Na Tabela 6 pode ser observada a descrição morfológica dos solos encontrados na região.

Figura 5: Pedologia da Bacia do Ribeirão Claro**.**



Fonte: Adaptado de Rossi (2017)

Tabela 6: Descrição dos tipos de solos encontrados na Bacia do Ribeirão Claro (continua)

Gleissolos Háplicos		
Símbolo	**Descrição Morfológica**	**Área (%)**
GX2	GLEISSOLO HÁPLICO ou MELÂNICO	1,085
Latossolos Vermelhos		
Símbolo	**Descrição Morfológica**	**Área (%)**
LV1	LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico	1,124
LV10	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico/Eutroférrico típico	26,068
LV11	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico	0,418

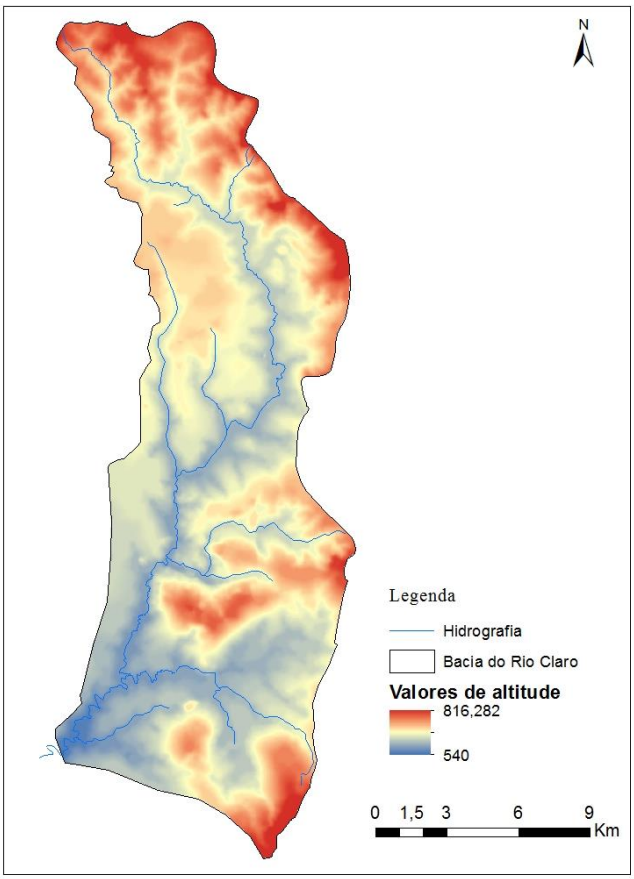
Tabela 6: Descrição dos tipos de solos encontrados na Bacia do Ribeirão Claro (continuação)

Símbolo	Descrição Morfológica	Área (%)
LV20	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	1,607
LV27	Associação de LATOSSOLO VERMELHO + NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico	0,118
	Latossolos Vermelho-Amarelos	
Símbolo	**Descrição Morfológica**	**Área (%)**
LVA3	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico	0,003
LVA6	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/VERMELHO, Distróficos típicos	15,437
	Argissolos Vermelhos	
Símbolo	**Descrição Morfológica**	**Área**
PV7	ARGISSOLO VERMELHO	2,610
	Argissolos Vermelho-Amarelos	
Símbolo	**Descrição Morfológica**	**Área**
PVA7	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico ou Distrófico abrúptico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico	2,368
PVA11	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO + NEOSSOLO LITÓLICO	6,931
PVA14	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico,	2,592
PVA15	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico	16,590
PVA19	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico espessoarênico abrúptico	7,601
	Neossolos Litólicos	
Símbolo	**Descrição Morfológica**	**Área (%)**
RL5	NEOSSOLO LITÓLICO	0,440
RL14	Associação de NEOSSOLO LITÓLICO, + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO abrúptico	5,192
	Neossolos Quartzarênicos	
Símbolo	**Descrição Morfológica**	**Área (%)**
RQ2	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico	1,820

Fonte: Autoria própria

A Figura 6 apresenta as altitudes médias da região de estudo. Constatou-se que as cotas altimétricas variaram de 540 a 817 metros de altitude em relação ao nível do mar. Geograficamente, as áreas de maior altitude estão localizadas na região nordeste do município e as menores altitudes circundam os cursos d'águas. Esse mapa foi realizado em ambiente de SIG com os dados das curvas de nível da região na escala de 1:10000 do Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo.

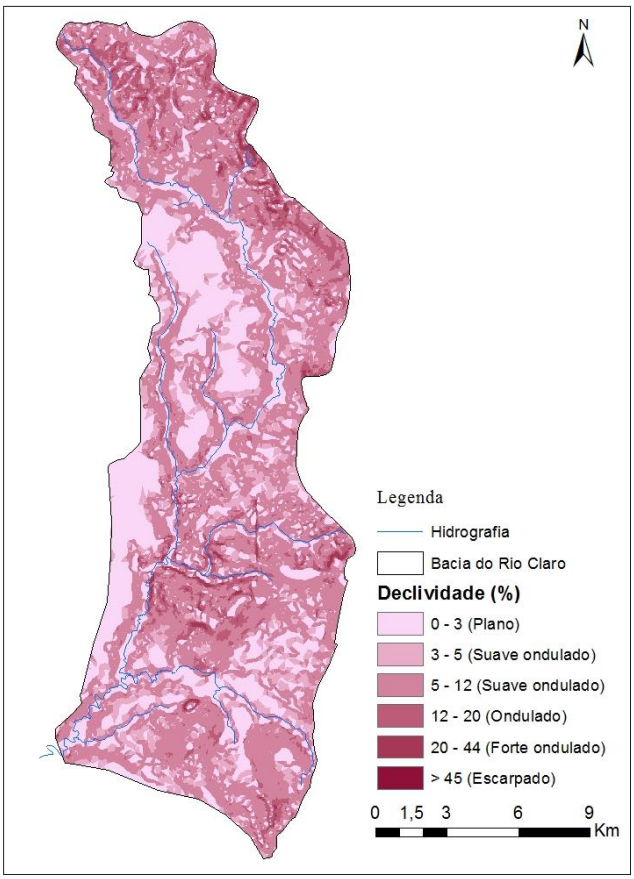
Figura 6: Mapa de altitudes médias da Bacia do Rio Claro.



Fonte: Autoria Própria

A declividade média de uma bacia e dos cursos d'água são características que afetam diretamente o tempo de viagem da água ao longo da drenagem. Com o aumento da declividade há a diminuição do tempo de concentração de uma bacia (VEIGA et. al., 2011). O mapa de declividade gerado pode ser observado na Figura 7. O fatiamento das faixas de declividade seguiu o proposto na definição das Classes de Capacidade de Uso das Terras (LEPSH et al, 1991).

Figura 7: Mapa de declividade da Bacia do Rio Claro.

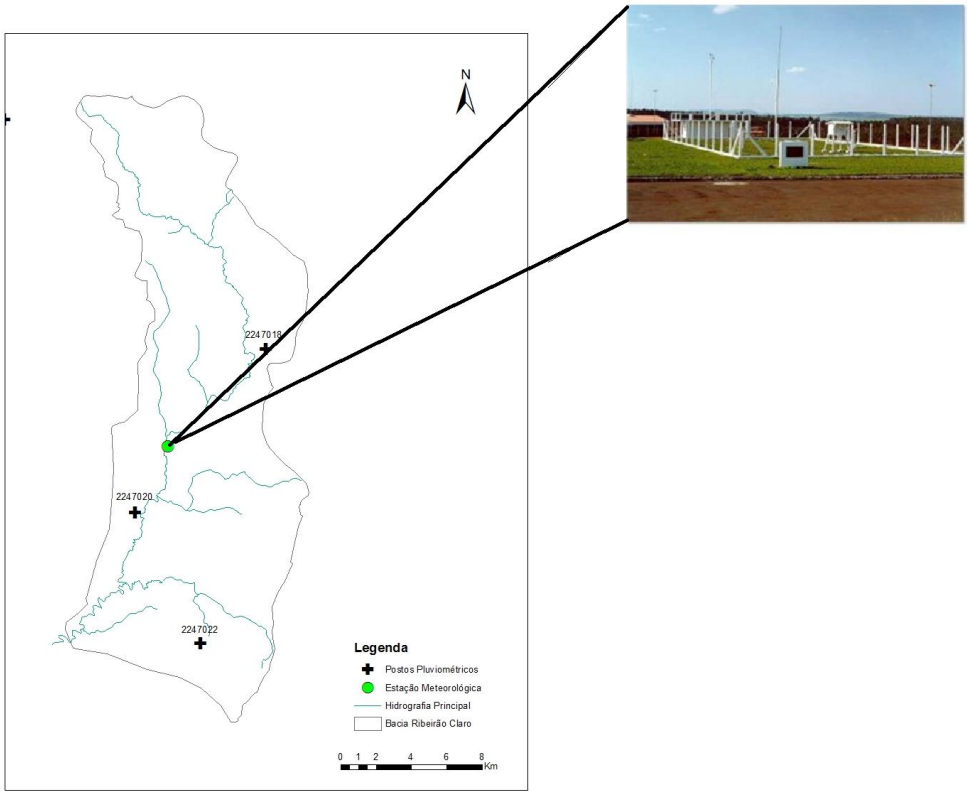


Fonte: Autoria Própria

4.2 Dados meteorológicos

Para avaliação da produção média anual de escoamento superficial, foram utilizados dados de precipitação e evaporação discretizados de 5 em 5 minutos da estação automática agro-meteorológica da marca Davis modelo Pro Plus II. A estação está instalada no Campus da Bela Vista em terreno do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP/Rio Claro, localizada nas coordenadas geográficas latitude 22º 23’S, longitude: 47º 32’W e altitude: 626,5 m. Sua série histórica compreende dados de Agosto/2011 a Agosto/2016, sendo este o intervalo utilizado neste estudo. A localização da estação automática pode ser observada na Figura 8. A pequena extensão da série é uma limitação, pois avaliações desse gênero envolvem longas séries históricas. No entanto, ROSSMAN (2010) recomenda o uso de dados de precipitação discretizados de maneira mais detalhada (mínimo de 1h), sendo este o motivo de escolha desta série histórica.

Figura 8: Localização da Estação Agro-Meteorológica e das demais estações da ANA.



Fonte: Autoria Própria

Na Tabela 7 são apresentados os totais precipitados anuais. Cabe observar que o ano de 2014 se apresentou como o 13º ano mais seco desde 1934, de acordo com dados da estação do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo.

Tabela 7: Total precipitado em mm para os anos considerados na série histórica

Ano	Total precipitado (mm)
Agosto/2011 a Dezembro/2011	557,2
Janeiro/2012 a Dezembro/2012	1344,0
Janeiro/2013 a Dezembro/2013	1275,0
Janeiro/2014 a Dezembro/2014	760,4
Janeiro/2015 a Dezembro/2015	1998,8
Janeiro/2016 a Agosto/2016	802,8

Fonte: Autoria própria

Com o objetivo de avaliar a série histórica considerada neste estudo foram observadas os demais postos pluviométricos presentes na área, pertencentes à

Agência Nacional de Águas, que apresentam dados acumulados diários (Figura 8). Os valores obtidos para o total precipitado em cada ano podem ser observados na . Somente foi possível avaliar até o ano de 2014, devido à disponibilização de dados da ANA. É possível observar que o posto pluviométrico da UNESP representa satisfatoriamente a área de estudo.

Tabela 8: Total precipitado em mm para os anos considerados na série histórica para as demais estações

Ano	Total precipitado (mm)		
	2247018	**2247020**	**2247022**
Agosto/2011 a Dezembro/2011	597,8	609,9	617,1
Janeiro/2012 a Dezembro/2012	2005,9	1861,7	1720,9
Janeiro/2013 a Dezembro/2013	1076,5	1448,4	1423,8
Janeiro/2014 a Dezembro/2014	684,1	922,5	991,6

Fonte: Autoria própria

4.3 Uso e ocupação do solo

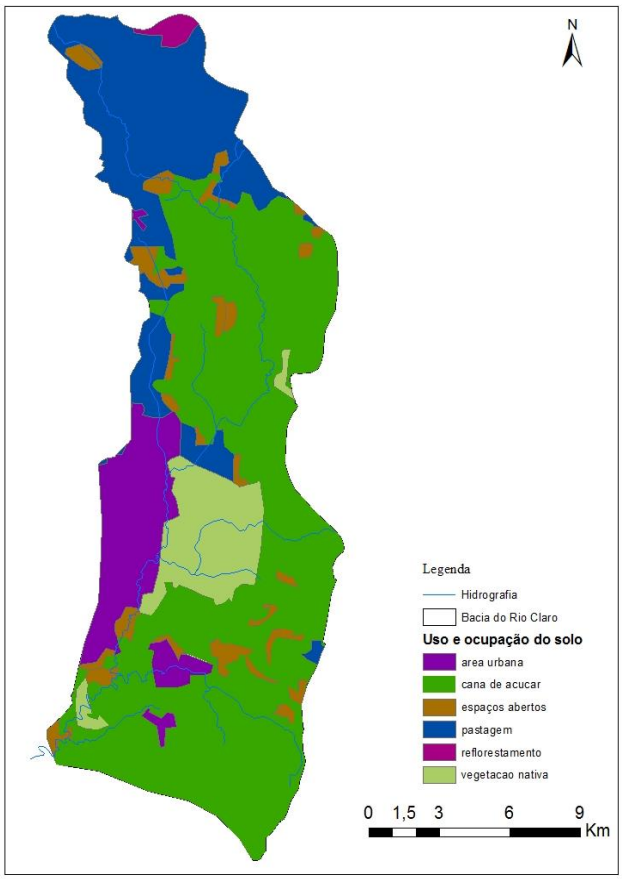
A região de Rio Claro teve seu crescimento marcado pelo cultivo de cana de açúcar em grandes propriedades. No período de 1874 a 1876, foi instalada a ferrovia da região, impulsionando o processo de urbanização e o aumento populacional. Entre as décadas de 1920 e 1940, surgiram as primeiras retrações do setor agrícola, pois foi nesse período que as primeiras indústrias instaladas na região se destacam, principalmente o setor cervejeiro e o têxtil (TROPPMAIR, 1983).

Rio Claro originou-se como um dos municípios do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (indústria cerâmica e mineração), com parque industrial especializado na produção de pisos e revestimentos, considerado o principal aglomerado produtivo mínero-cerâmico do País (IPT, 2012).

Cerca de 50% da área total da bacia do Ribeirão Claro é ocupada atualmente pela agricultura (cana de açúcar). As pastagens ocupam cerca de 20% da área da bacia. Estas áreas, que juntas representam 70% da área total da bacia, se localizam nos trechos a montante da área urbana de Rio Claro, trazendo sérios problemas nas áreas das nascentes do Ribeirão Claro. Cerca de 8% é composto de vegetação nativa (em maior parte representada pela Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade”) e 1,2% representa a área de reflorestamento na bacia. A delimitação do uso e ocupação do solo, apresentada no Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios

Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010-2020 pode ser observada na Figura 9 (COBRAPE, 2007).

Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Claro.



Fonte: Autoria Própria

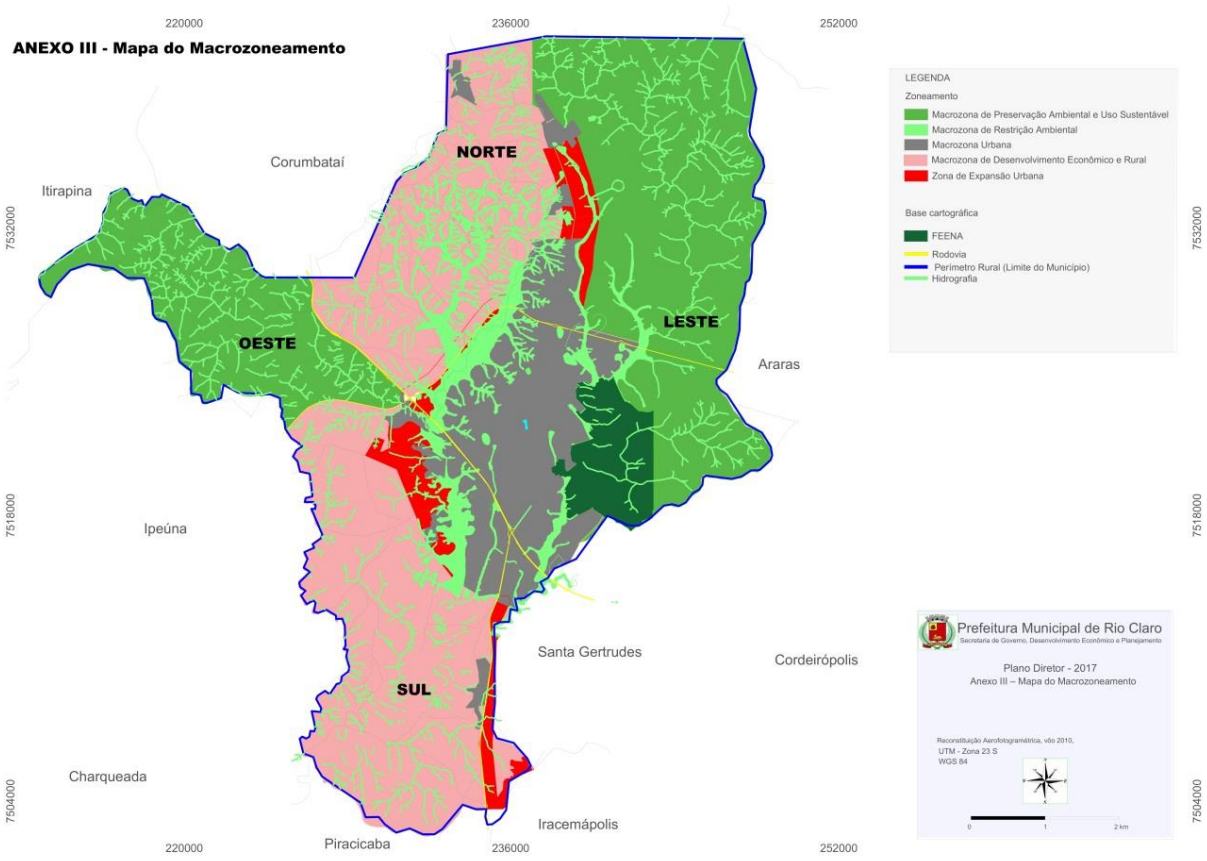
A Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” (FEENA), conta com uma área de 2230,53 hectares e sua zona oeste está em contato direto com a mancha urbana do Município de Rio Claro. Atualmente, a administração dessa Unidade de Conservação é realizada pelo Instituto Florestal da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. No entanto, segundo Hardt (2009) a região limite entre a mancha urbana e a floresta apresenta uma série de impactos negativos. Resíduos sólidos dispostos de maneira inadequada, não respeito aos limites da UC, pastagem de gado bovino, incêndios, dentre outros.

4.3.1 Diretrizes do Plano Diretor de Rio Claro e Santa Gertrudes para a Bacia de Ribeirão Claro

A Lei complementar Nº 0128/2017 institui o Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Rio Claro. O zoneamento apresentado no Plano Diretor da cidade prevê áreas para a expansão urbana e rural, orientando o ordenamento físico e territorial do município. Sendo assim, neste trabalho os Planos Diretores serão utilizado com o objetivo de estabelecer cenários de ocupação para a bacia do Ribeirão Claro.

O Plano diretor estabelece como objetivos relacionados ao meio ambiente: o estabelecimento do zoneamento urbano e de expansão compatíveis com seus aspectos e fragilidades ambientais; a definição de regras que promovam o desassoreamento e a recuperação ambiental das bacias do Ribeirão Claro, do Rio Cabeça e do Rio Corumbataí, visando à garantia da qualidade do abastecimento de água no Município integrado à criação dos respectivos parques municipais; o controle do uso e ocupação de fundos de vale, das áreas sujeitas à inundação, dos mananciais, das áreas de alta declividade e das cabeceiras de drenagem; a ampliação da permeabilidade do solo; a garantia da integridade das Unidades de Conservação; a orientação e controle no manejo do solo nas atividades agrícolas; entre outros. O Macrozoneamento urbano e rural do Município pode ser observado na Figura 10.

Figura 10: Macrozoneamento do Município de Rio Claro-SP



Fonte: Lei Complementar Nº 0128/2017

O Macrozoneamento divide o território em áreas com alguma homogeneidade de características ambientais e de grau de urbanização, sendo que possuem implicações distintas quanto à forma de utilização e planejamento do uso e ocupação do solo. As principais macrozonas determinadas pelo Plano diretor são:

- Macrozona de preservação ambiental e uso sustentável – Localizada a leste do Município é caracterizada pela fragilidade ambiental, presença de Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e relevância dos recursos naturais. Nessa área, é permitido o uso sustentável dos recursos naturais disponíveis. Tendo como objetivos: Conservar, recuperar e restaurar o meio ambiente e habitat natural do Município; Resguardar os fragmentos dos biomas nativos ainda existentes; Controlar e fiscalizar os usos instalados; Restringir usos urbanos e o processo de antropização; Estabelecer possibilidades de usos rurais e turísticos de baixo impacto; Proteger e recuperar os mananciais, e; Priorizar o

atendimento de programas de pagamento por serviços ambientais. Os usos compatíveis com essa área são:

a) atividades de pesquisa e educação ambiental, realizadas por períodos de tempo limitados e em instalações ou territórios específicos;

b) atividades de manejo sustentável, incluída a agroindústria, atividades agroflorestais, agropecuária, entre outras;

c) ecoturismo e lazer, compreendendo clubes, pousadas, entre outras;

d) extração de areia em curso d'água, quando servir de mitigação a dano ambiental já instalado;

e) comércio especializado para o suprimento das atividades rurais;

f) captação de água destinada ao consumo humano, associado ou não ao envase;

g) local de eventos ambientalmente compatível, de natureza social, esportiva, religiosa, ecoturística, lazer e agropecuária, e

h) uso residencial unifamiliar implantado em lotes com área mínima de 1.000m² e mínimo de 30% de área permeável, mediante apresentação de estudos técnicos de viabilidade do empreendimento, baseado nas diretrizes emitidas em certidão pela Comissão de Aprovação de Empreendimentos Imobiliários – COAP e, se aprovados, com infraestrutura a cargo do empreendedor.

- Macrozona de Restrição Ambiental – Compreende todos os cursos d'água existentes no município com respectivas APPs. Essas áreas são caracterizadas pela fragilidade ambiental das áreas de várzeas de rios e córregos e tem por objetivos: Conservar, recuperar e restaurar o meio ambiente e o habitat natural; Resguardar a integridade dos fragmentos dos biomas nativos; Controlar e fiscalizar os usos econômicos já instalados; Regulamentar novos loteamentos destinados ao uso residencial e impedir novos loteamentos destinados ao uso industrial; Impedir o depósito de resíduos; Estabelecer possibilidades de usos rurais e turísticos de baixo impacto, e; Proteger e recuperar os mananciais.
- Macrozona Urbana – Corresponde a área urbanizada do Município e a área que venha a ser incorporada a ela devido o processo de urbanização. Os objetivos nessa área estão relacionados às questões de infraestrutura e

serviço públicos adequados, bem como a promoção de ações de mitigação, compensação, recuperação e restauro de danos potenciais ou causados ao meio ambiente e resguardo do bem-estar da população.

- Macrozona de Desenvolvimento Econômico e Rural – Caracterizada pela possibilidade de exploração econômica, em especial agrícola, minerária. Os principais objetivos determinados pelo Plano Diretor são: Coibir o avanço urbano; Controlar as atividades econômicas instaladas; Viabilizar a instalação de aeroporto regional, e; Promover ações de mitigação, compensação, recuperação e restauro de danos potenciais ou causados ao meio ambiente.

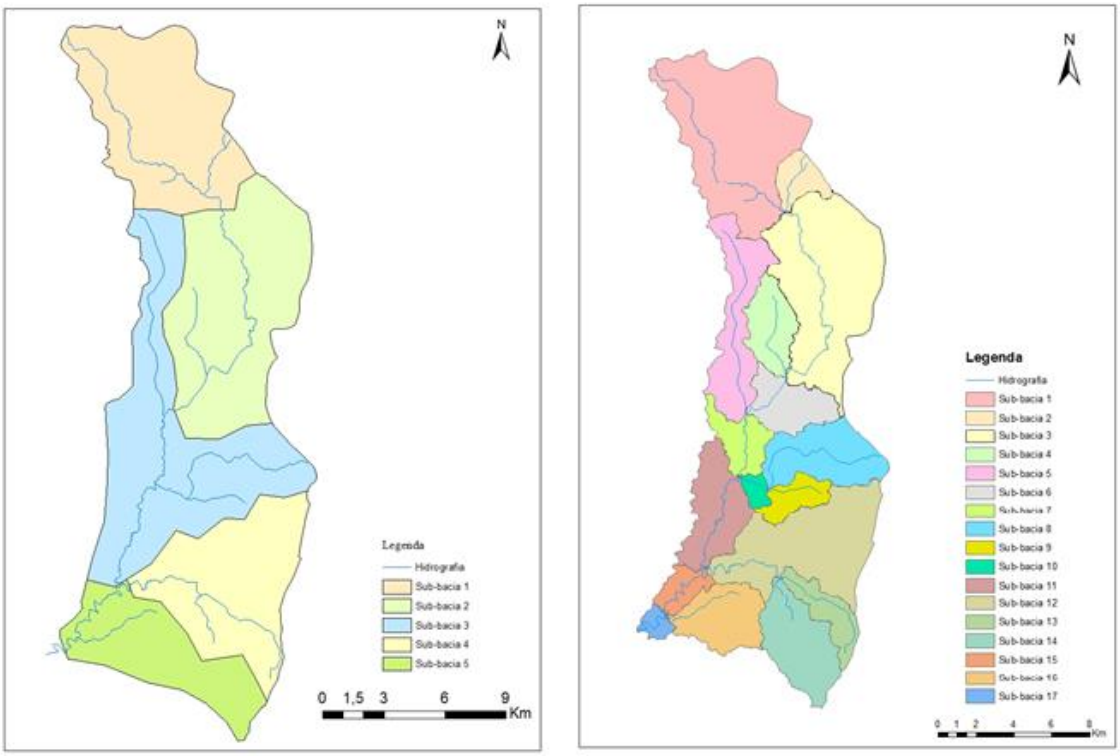
Além do Município de Rio Claro, a bacia estudada também abrange uma parcela do Município de Santa Gertrudes. Sendo assim, também foi analisado o Plano Diretor de Santa Gertrudes, disposto na Lei Complementar Nº 1883/2002, de 05 de Julho de 2002, bem como a Lei Complementar Nº 2003/2005 que introduz alterações na Lei Nº 1883. Nestas Leis há a definição do macrozoneamento do Município, que se divide em:

- Zona Central – Região que se presta exclusivamente para a implantação de residências e comércios não poluidores. Dentro deste perímetro existe uma área de proteção de mananciais que deverá se transformar em um Parque Municipal;
- Zona Mista - Dentro desta área poderão ser implantados loteamentos que se prestam a uso misto, residencial e comercial, sendo vedada a concessão de certidão de uso e ocupação de solo por parte da Prefeitura para implantação de qualquer tipo de industria, inclusive para ampliação das existentes,
- Zona Residencial – Se trata de uma região a montante da Estação de Tratamento de Água, sendo assim, o Plano Diretor determina que essa área seja de uso estritamente residencial com a proteção da mata ciliar do Córrego Santa Gertrudes.
- Zona de Expansão Urbana – É definida no Plano Diretor como a área circundante a Zona Urbana atual com largura definida de 500 m.
- Zona Rural – Definida como a área destinada à atividades agropecuárias e extrativas, bem como as atividades de reflorestamento e de mineração.

4.4 Discretização das sub-bacias

Com o objetivo de avaliar os aspectos de variabilidade espacial das características físicas da bacia, esta foi dividida em áreas menores (sub-bacias). As delimitações da sub-bacias foram realizadas em ambiente de SIG e podem ser observadas abaixo. Foram interpoladas as curvas de nível com resolução de 1:10000 para obtenção do Modelo Digital de Terreno. Após, determinou-se a direção do fluxo em cada célula do MDT e, com essa malha, foi gerada uma outra (acúmulo de fluxo), que contem o número de células próximas que drenam para uma determinada célula. Para finalização, foi criado um layer com os pontos escolhidos como exutórios e, finalmente, chegou-se à configuração da divisão. Optou-se por apresentar duas descretizações distintas, com o objetivo de analisar a influência da homogeneização das características das sub-bacia na modelagem. A primeira conta com cinco sub-bacias e a segunda discretização conta com dezessete sub-bacias (Figura 11).

Figura 11: Mapa de discretização com cinco sub-bacias à esquerda e com dezessete sub-bacias a direita.



Fonte: Autoria Própria

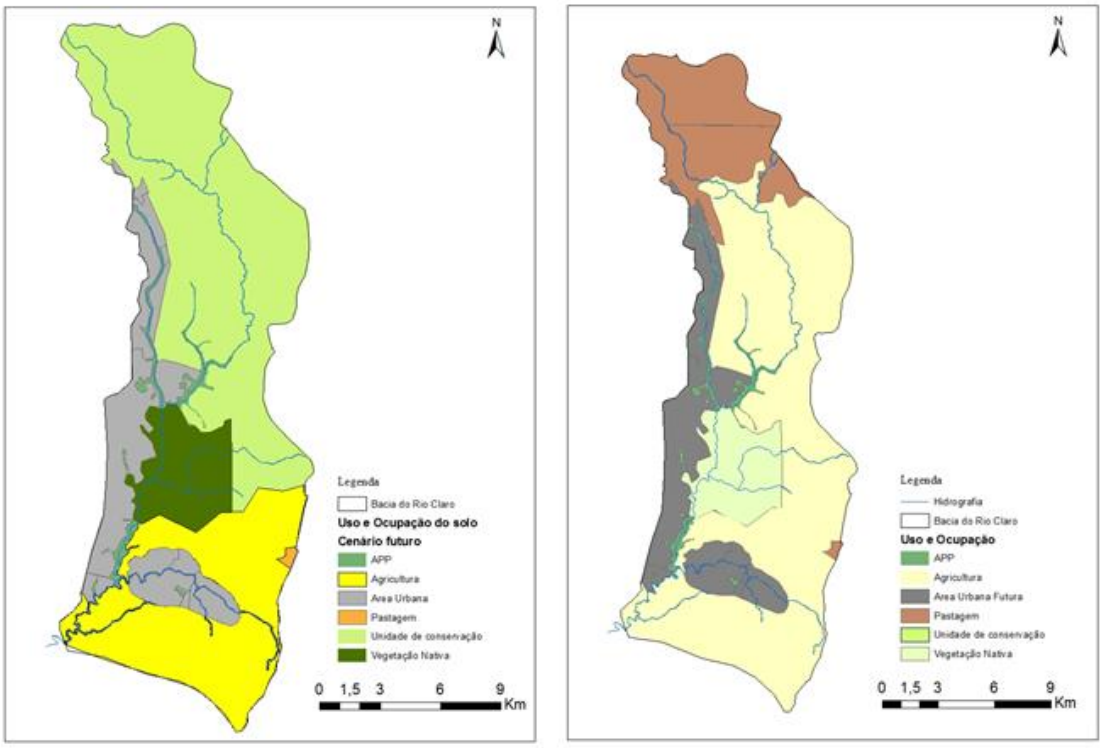
4.5 Determinação dos cenários de uso e ocupação do solo

Para a avaliação do escoamento superficial e poluição difusa produzidos pela Bacia do Ribeirão Claro foram considerados três cenários para duas discretizações da área.

O cenário atual foi baseado no mapa do uso e ocupação do solo atual e pode ser observado na Figura 9.

O cenário futuro neste trabalho corresponde ao cenário de expansão urbana futura da bacia, o qual segue as diretrizes do Plano Diretor em vigência. Sendo assim, as áreas marginais ao longo dos córregos, rios e nascentes foram restauradas e a zona de expansão urbana foi totalmente ocupada, de acordo com as características dispostas no Plano Diretor. Além disso, para um cenário futuro otimista foi considerado que toda a região a leste da área urbana de Rio Claro, onde atualmente são intensivas a agricultura e a pastagem, tivesse seu uso urbano restrito a usos rurais e turísticos de baixo impacto. Este cenário otimista foi considerado observando as diversas mudanças ocorridas na bacia no sentido de preservação dos recursos naturais. A Figura 12 apresenta, à esquerda, a situação da ocupação para o cenário futuro otimista. Além disso, foi considerado um cenário futuro pessimista, onde foi considerado que a área de intensa agricultura e pastagem do cenário atual permaneça e que as demais características de expansão urbana do cenário futuro estejam presentes (Figura 12, à direita).

Figura 12: Mapa de uso e ocupação do solo - Cenário Futuro otimista à esquerda e cenário futuro pessimista à direita.



Fonte: Autoria Própria

Cada feição de uso e ocupação do solo foi relacionada a um valor de CN, a um valor de coeficiente de Manning e a um valor de armazenamento de água em depressões para superfícies permeáveis e impermeáveis de acordo com o Anexo 1. Sendo assim, nas tabelas a seguir são apresentadas as porcentagens referentes às classes de uso e ocupação do solo da bacia do Ribeirão Claro para os seis cenários considerados, bem como o valor de Curva Número (CN), Coeficiente de Manning (η) e os valores de armazenamento de água em depressões para superfícies permeáveis e impermeáveis (DP e DI, respectivamente) utilizados em cada situação, visto que estes foram obtidos através da média ponderada das áreas de cada uso e ocupação do solo. Estes valores foram obtidos através de recomendações do manual (ROSSMAN, 2010). Os cenários considerados podem ser resumidos em:

- Primeiro cenário: Uso e ocupação do solo atual para discretização com cinco sub-bacias (Tabela 9)

- Segundo cenário: Uso e ocupação do solo atual para discretização com dezessete sub-bacias (Tabela 10).
- Terceiro cenário: Uso e ocupação do solo futuro otimista para discretização com cinco sub-bacias (Tabela 11).
- Quarto cenário: Uso e ocupação do solo futuro otimista para discretização com dezessete sub-bacias (Tabela 12).
- Quinto cenário: Uso e ocupação do solo futuro pessimista para discretização com cinco sub-bacias (Tabela 13).
- Sexto cenário: Uso e ocupação do solo futuro pessimista para discretização com dezessete sub-bacias (Tabela 14).

Tabela 9: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 1

Sub-bacias	Uso e ocupação do solo (%)						CN ponderado	η permeável ponderado	η imperm. ponderado	DP ponderado	DI
	Área Urbana	Pastagens	Cana de açucar	Vegetação Nativa	Espaços abertos	Refloresta mento					
1	0,524	78,711	12,006	0,000	5,260	3,499	78,738	0,064	0,024	5,142	2,540
2	1,080	5,623	80,467	6,333	4,465	2,032	79,425	0,088	0,024	5,238	2,540
3	25,298	11,957	30,437	26,235	6,061	0,012	74,829	0,318	0,013	4,462	2,540
4	11,877	1,157	83,436	0,004	3,526	0,000	71,736	0,060	0,013	4,477	2,540
5	4,688	0,000	91,140	4,172	0,000	0,000	71,108	0,075	0,024	4,948	2,540

Fonte: Autoria Própria

Tabela 10: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 2

Sub-bacias	Uso e ocupação do solo (%)						CN ponderado	η permeável ponderado	η imperm. ponderado	DP ponderado	DI
	Área Urbana	Pastagens	Cana de açucar	Vegetação Nativa	Espaços abertos	Refloresta mento					
1	1,004	82,477	8,879	0,000	3,420	4,220	85,728	0,066	0,024	5,136	2,540
2	0,000	79,481	8,291	0,000	12,229	0,000	79,166	0,051	0,024	5,080	2,540
3	0,000	2,449	91,047	1,726	4,261	0,516	90,686	0,067	0,024	5,137	2,540
4	0,000	1,330	84,177	0,000	3,817	10,675	79,296	0,096	0,024	5,351	2,540
5	27,952	42,652	18,525	0,490	10,380	0,000	80,984	0,055	0,013	3,672	2,540
6	6,854	25,550	32,990	28,810	5,796	0,000	84,341	0,162	0,024	5,464	2,540
7	29,357	0,680	0,000	69,964	0,000	0,000	75,980	0,793	0,013	5,366	2,540
8	0,000	0,015	52,892	47,093	0,000	0,000	49,866	0,408	0,024	6,276	2,540
9	0,000	0,000	40,164	59,836	0,000	0,000	43,877	0,503	0,024	6,600	2,540
10	0,000	0,000	18,763	81,237	0,000	0,000	33,818	0,661	0,024	7,143	2,540
11	55,866	0,000	24,007	7,860	12,267	0,000	71,099	0,192	0,013	2,442	2,540
12	13,140	9,627	71,802	0,030	5,401	0,000	72,264	0,059	0,013	4,413	2,540
13	9,666	0,000	89,640	0,000	0,694	0,000	70,550	0,060	0,024	4,589	2,540
14	2,131	0,000	97,237	0,000	0,632	0,000	71,680	0,060	0,024	4,972	2,540
15	0,000	0,000	63,680	23,306	13,014	0,000	77,504	0,139	0,024	5,672	2,540
16	11,437	0,000	86,864	1,591	0,108	0,000	69,855	0,066	0,024	4,539	2,540
17	0,000	0,000	55,979	0,000	44,021	0,000	81,000	0,060	0,024	5,080	2,540

Fonte: Autoria Própria

Tabela 11: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 3

Sub-bacias	Uso e ocupação do solo (%)						CN ponderado	η permeável ponderado	η imperm. ponderado	DP ponderado	DI
	Área Urbana	Pastagens	Cana de açucar	Vegetação Nativa	APP	Unidade de conservação					
1	1,822	0,000	0,000	0,000	2,215	95,963	61,275	0,184	0,013	7,481	2,540
2	1,998	0,000	0,000	1,387	4,489	92,126	70,686	0,208	0,013	7,468	2,540
3	37,600	0,000	1,700	26,125	10,957	23,618	70,501	0,541	0,013	4,712	2,540
4	22,772	1,151	73,731	0,000	2,346	0,000	72,459	0,082	0,013	3,983	2,540
5	8,006	0,000	88,981	0,000	3,013	0,000	71,587	0,084	0,013	4,750	2,540

Fonte: Autoria Própria

Tabela 12: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 4

Sub-bacias	Uso e ocupação do solo (%)						CN ponderado	η permeável ponderado	η imperm. ponderado	DP ponderado	DI
	Área Urbana	Pastagens	Cana de açucar	Vegetação Nativa	APP	Unidade de conservação					
1	1,076	0,000	0,000	0,000	1,773	97,151	77,181	0,181	0,013	7,493	2,540
2	0,000	0,000	0,000	0,000	5,071	94,929	66,659	0,202	0,013	7,491	2,540
3	0,000	0,000	0,000	0,000	2,355	97,645	83,141	0,185	0,013	7,560	2,540
4	0,000	0,000	0,000	0,000	6,403	93,597	66,832	0,210	0,013	7,457	2,540
5	63,226	0,000	0,000	1,821	11,862	23,091	79,555	0,404	0,013	2,501	2,540
6	14,105	0,000	0,000	6,650	12,979	66,266	74,559	0,275	0,013	6,216	2,540
7	32,480	0,000	0,000	49,578	17,942	0,000	79,725	0,800	0,013	4,689	2,540
8	0,000	0,000	0,000	34,483	4,660	60,857	39,362	0,417	0,013	7,502	2,540
9	0,000	0,000	0,000	72,288	7,298	20,414	32,513	0,671	0,013	7,435	2,540
10	0,000	0,000	0,000	84,520	15,480	0,000	32,276	0,800	0,013	7,227	2,540
11	56,816	0,000	13,957	12,600	16,627	0,000	68,919	0,561	0,013	2,514	2,540
12	21,841	1,579	72,746	1,074	1,551	1,209	72,412	0,086	0,013	4,028	2,540
13	27,363	0,000	67,546	0,000	5,091	0,000	67,896	0,112	0,013	3,690	2,540
14	8,909	0,000	90,033	0,000	1,058	0,000	70,664	0,069	0,013	4,627	2,540
15	26,176	0,000	61,500	0,000	12,324	0,000	82,047	0,184	0,013	3,750	2,540
16	6,445	0,000	91,447	0,000	2,107	0,000	71,033	0,077	0,013	4,753	2,540
17	0,000	0,000	92,634	0,000	7,366	0,000	81,000	0,115	0,013	5,080	2,540

Fonte: Autoria Própria

Tabela 13: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 5

Sub-bacias	Uso e ocupação do solo (%)						CN ponderado	η permeável ponderado	η imperm. ponderado	DP ponderado	DI
	Área Urbana	Pastagens	Cana de açucar	Vegetação Nativa	APP	Unidade de conservação					
1	1,825	80,811	15,144	0,000	2,219	0,000	78,850	0,068	0,013	5,044	2,54
2	2,000	0,817	91,298	1,389	4,496	0,000	79,881	0,104	0,013	5,128	2,54
3	37,786	0,767	24,180	26,255	11,012	0,000	72,807	0,503	0,013	4,107	2,54
4	22,772	1,151	73,731	0,000	2,346	0,000	72,459	0,082	0,013	3,983	2,54
5	8,006	0,000	88,981	0,000	3,013	0,000	71,587	0,084	0,013	4,750	2,54

Fonte: Autoria Própria

Tabela 14: Dados de Uso e Ocupação do solo para o Cenário 6

Sub-bacias	Uso e ocupação do solo (%)						CN ponderado	η permeável ponderado	η imperm. ponderado	DP ponderado	DI
	Área Urbana	Pastagens	Cana de açucar	Vegetação Nativa	APP	Unidade de conservação					
1	1,077	85,841	11,309	0,000	1,773	0,000	86,151	0,065	0,013	5,025	2,540
2	0,000	74,011	20,895	0,000	5,093	0,000	79,418	0,090	0,013	5,080	2,540
3	0,000	2,037	95,607	0,000	2,356	0,000	90,912	0,077	0,013	5,080	2,540
4	0,000	0,000	93,654	0,000	6,346	0,000	80,873	0,107	0,013	5,080	2,540
5	63,398	1,400	21,481	1,826	11,895	0,000	82,996	0,337	0,013	1,906	2,540
6	14,105	0,000	66,266	6,650	12,979	0,000	87,291	0,229	0,013	4,532	2,540
7	32,480	0,000	0,000	49,578	17,942	0,000	79,725	0,800	0,013	4,689	2,540
8	0,000	0,000	60,857	34,483	4,660	0,000	55,793	0,350	0,013	5,956	2,540
9	0,000	0,000	20,414	72,288	7,298	0,000	38,024	0,649	0,013	6,916	2,540
10	0,000	0,000	0,000	84,520	15,480	0,000	32,276	0,800	0,013	7,227	2,540
11	56,816	0,000	13,957	12,600	16,627	0,000	68,919	0,561	0,013	2,514	2,540
12	21,841	1,579	73,955	1,074	1,551	0,000	72,739	0,085	0,013	3,998	2,540
13	27,363	0,000	67,546	0,000	5,091	0,000	67,896	0,112	0,013	3,690	2,540
14	8,909	0,000	90,033	0,000	1,058	0,000	70,664	0,069	0,013	4,627	2,540
15	26,176	0,000	61,500	0,000	12,324	0,000	82,047	0,184	0,013	3,750	2,540
16	6,445	0,000	91,447	0,000	2,107	0,000	71,033	0,077	0,013	4,753	2,540
17	0,000	0,000	92,634	0,000	7,366	0,000	81,000	0,115	0,013	5,080	2,540

Fonte: Autoria Própria

Neste estudo, para avaliar o acúmulo e lavagem dos poluentes de acordo com o tipo de uso de solo, foram utilizados os valores de Concentrações Médias no Evento (CME). Os valores utilizados foram retirados de Baird e Jennings (1996), que realizou compilações de concentrações médias existentes para dezoito poluentes. A metodologia adotada pelos autores consistiu em monitorar a concentração desses poluentes através do escoamento advindo de áreas ocupadas por categorias de uso do solo homogêneas, sendo elas: residencial (Inclui construções residenciais, assim como parques, áreas de golfe, cemitérios e etc), urbano (que inclui distritos empresariais, shopping centers, unidades institucionais, etc.), industrial/comercial, vias, agricultura, campos e pastagens (áreas onde a comunidade vegetal se restringe a gramíneas e arbustos) e áreas abertas pouco desenvolvidas (áreas com vegetação esparsa, que apresentam solos pedregosos). Os valores utilizados podem ser observados Tabela 15. Por falta de dados disponíveis na literatura, para os usos e ocupações do solo referentes à vegetação (nativa ou reflorestada) foram adotados valores de CME da classe pastagem, seguindo o estudo apresentado por Aprígio (2012), que realizou a mesma consideração e obteve resultados satisfatórios.

Tabela 15: Concentração média no evento para diferentes poluentes e usos e ocupações do solo.

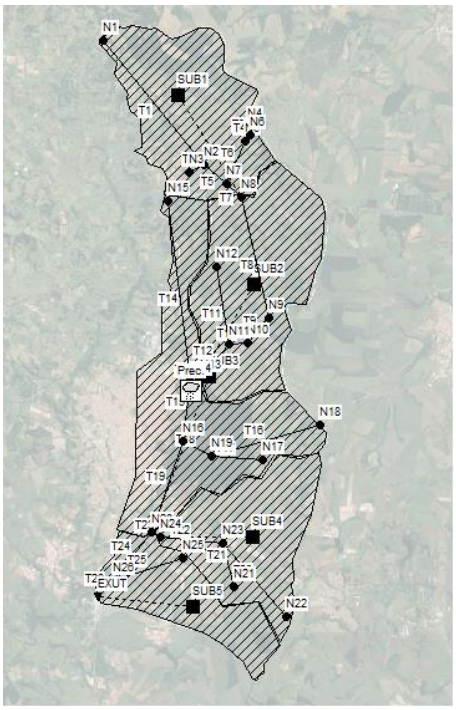
	Uso e ocupação do solo			
Poluentes (mg/L)	**Residencial**	**Pastagens**	**Agricultura**	**Espaços abertos pouco desenvolvidos**
Nitrogênio total	1,82	0,7	4,4	1,5
Fósforo total	0,57	0,01	1,3	0,12
Sólidos suspensos	41	1	107	70
Sólidos dissolvidos	134	245	1225	0
DBO	25,5	0,5	4	0
DQO	49,5	0	0	40

Fonte: Adaptado de Baird e Jennings (1996)

4.5.1 Representação das características da Bacia

A drenagem avaliada neste trabalho é representada no modelo SWMM através das sub-bacias, condutos e nós. A Figura 13 apresenta a representação da modelagem matemática da bacia no SWMM, onde é possível observar as sub-bacias, condutos e nós considerados no modelo para o cenário 1.

Figura 13: Representação do cenário 1 no modelo SWMM**.**



Fonte: Autoria Própria.

4.5.1.1 Caracterização das Sub-bacias

Cabe ao usuário do SWMM dividir a área de estudo em um número conveniente de sub-bacias e identificar os pontos de saída (outlet) de cada uma delas. No Anexo 2 são apresentados os valores considerados para cada parâmetro de entrada necessários para caracterização das sub-bacias em cada cenário.

Os valores numéricos das áreas das sub-bacias foram calculados no software ArcGis ESRI 10.2, assim como as declividades médias. A metodologia utilizada para definição das larguras das sub-bacias seguiu o sugerido no manual do modelo (ROSSMAN, 2010), que as define como uma relação entre a área e o valor médio dos comprimentos máximos de escoamento superficial. Foram consideradas áreas impermeáveis todas aquelas com altas densidades de urbanização.

A porcentagem da área impermeável sem armazenamento de água em depressões se refere às áreas da sub-bacia que não permitem o alagamento, como as parcelas das ruas próximas às sarjetas, pavimentos novos, telhados que drenam diretamente para sarjeta. Esse valor foi fixado em 25% de acordo com recomendações do manual (ROSSMAN, 2010) e foi considerado apenas para as bacias que apresentassem uso urbano.

Os coeficientes de rugosidade de Manning para as superfícies e os valores para o armazenamento de água em depressões foram obtidos com base nas sugestões oferecidas no manual do SWMM (ROSSMAN, 2010) de acordo com a média ponderada dos usos e ocupações do solo, como já exposto no item 4.5 (Determinação dos cenários). Cabe ressaltar que o modelo sugere que esses parâmetros sejam calibrados para resultados mais precisos.

4.5.1.2 Caracterização dos condutos

No caso do presente estudo, foram considerados apenas os canais naturais, por falta de informação suficiente sobre os outros elementos de drenagem da área urbana (galerias e sarjetas).

O comprimento foi estimado utilizando o software ArcGis 10.2. Os valores médios de rugosidade de Manning para os canais naturais foram retirados de Chow (1995), que compilou uma série de resultados, obtendo valores típicos de coeficiente de Manning de acordo com as características do canal (Tabela 16).

Tabela 16: Valores típicos de coefiente de Manning para canais naturais

Típicos valores de n para córregos naturais	N
Limpo e reto	0,030
Fundo: Cascalhos, pedras e pedregulhos	0,040
Fundo: Pedras e grandes pedregulhos	0,050

Fonte: Adaptado de Chow (1995)

Para obtenção das seções transversais dos canais, o SWMM permite a seleção de diversas geometrias abertas e fechadas. Neste trabalho, foi realizada a compilação de diversos estudos existentes na área da bacia do Ribeirão Claro que apresentassem informações da largura média e profundidade máxima dos canais. No entanto, para alguns trechos, não foram encontrados dados disponíveis na literatura. Para esses casos, a geometria do canal e os valores de rugosidade foram determinados de acordo com os condutos mais próximos para os quais dados estavam disponíveis. Na Tabela 17, podem ser observados os estudos que possibilitaram a caracterização dos canais naturais da bacia do Ribeirão Claro. Além disso, foi necessário definir o valor do offset do nó de entrada e de saída que se refere à diferença entre o fundo do conduto e nó de jusante e como apenas foram

analisados canais naturais, esses valores foram considerados zero, seguindo os estudos de Collodel (2009).

Tabela 17: Estudos utilizados para caracterização dos cursos d'água na Bacia do Ribeirão Claro

Curso d'água	**Estudo utilizado**
Córrego Santo Antônio	CHRISTOFOLETTI et al (2015)
Córrego Ibitinga	CHRISTOFOLETTI et al (2015)
Córrego de Santa Gertrudes	Plano de Drenagem de Santa Gertrudes (PROESPLAN, 2013)
Córrego do Barreiro	Plano de Drenagem de Santa Gertrudes (PROESPLAN, 2013)
Ribeirão Claro	CETRA (2003), FONSECA (2008)

Fonte: Autoria própria

4.5.1.3 Caracterização dos nós

Os nós foram criados no inicio e no fim dos condutos, possibilitando a ligação entre eles e as mudanças de direção ocorridas nos canais naturais. Essas ligações ocorrem principalmente nas saídas das sub-bacias, no cruzamento entre afluentes e rio principal ou entre afluentes e em diferentes pontos intermediários dos canais naturais para representarem mudanças acentuadas nas características dos mesmos.

As coordenadas e as cotas do fundo de cada nó foram obtidas através das curvas de nível da área de estudo, com o auxílio do SIG. A profundidade máxima nos nós são medidas desde o fundo do terreno e foram determinadas a partir das seções transversais dos condutos que conformam os nós.

4.5.2 Caracterização dos poluentes

O SWMM avalia a geração e o transporte de qualquer número de poluentes, desde que sejam adicionadas as características dos mesmos. Neste trabalho foram considerados os parâmetros: Nitrogênio total; Fósforo total; Sólidos suspensos e dissolvidos; DBO; e DQO. Para a caracterização, é necessário informar a concentração destes poluentes na água da chuva. Estes valores foram obtidos a partir de dados do trabalho de Galavoti (2009), que encontrou médias ponderadas de séries amostrais correspondentes a 6 eventos de chuva na cidade de São Carlos, localizada a uma distância de menos de 50 km da bacia estudada (Tabela 18).

Tabela 18: Concentração de poluentes na água da chuva

Poluentes	Concentração (mg/L)
Nitrogênio Total	1,000
Fósforo Total	0,066
Sólidos Suspensos	9,780
Sólidos Dissolvidos	43,440
DBO	1,400
DQO	16,180

Fonte: Adaptado de Galavoti (2009)

4.6 Cálculos realizados no modelo

Na Tabela 19, são apresentadas as opções escolhidas para simulação pelo SWMM. O modelo de infiltração adotado para a análise deste estudo foi o SCS, devido à facilidade na aquisição dos dados, que, por utilizar o CN como parâmetro principal leva em consideração apenas o uso e ocupação do solo. Para o modelo de transporte foi utilizada a Onda cinemática. O modelo uniforme representaria algumas simplificações, no entanto, considera o escoamento uniforme e permanente em cada passo de cálculo e, segundo Rossman (2010), somente é apropriado para análises preliminares, e cada nó somente pode estar conectado a um conduto. Já o modelo de onda dinâmica é utilizado para a representação de situações mais precisas, como ressalto hidráulico e perdas nas entradas e saídas dos condutos. Visto que, essas situações não são objetivos deste estudo optou-se pela seleção do modelo de onda cinemática. Além disso, a escolha deste modelo levaria a exigência de dados que não se encontram disponíveis, como por exemplo, a drenagem existente.

Tabela 19: Resumo dos itens selecionados no SWMM para simulação

Modelo	Itens selecionados
Modelo do Processo Físico	Chuva/Vazão Propagação de fluxo Qualidade de água
Modelo de Infiltração	Curva-Número
Modelo de Propagação	Onda cinemática

Fonte: Autoria Própria

Os resultados foram calculados e registrados a cada 5 minutos, visto que, esse foi o intervalo de discretização do acúmulo da precipitação.

5. RESULTADOS

5.1 Escoamento superficial na Bacia do Ribeirão Claro

A análise da influência do uso e ocupação do solo na geração do escoamento superficial está apresentada a seguir. A metodologia de apresentação dos dados seguiu o proposto por Aprígio (2012), que avaliou a diferença na geração do escoamento superficial através do volume médio de escoamento produzido por cada sub-bacia e por cenário. Além disso, no tópico 5.3 são apresentados os hidrogramas de um determinado evento de precipitação para cada cenário e sub-bacia. A precipitação média anual registrada nas simulações foi de 1191, 68 mm. Importante ressaltar que, os dados obtidos através da modelagem neste estudo são apenas qualitativos e não possuem o objetivo de representar a realidade da bacia do Ribeirão Claro, visto que, não foi possível realizar a calibração dos parâmetros. Porém, este fato não influenciou na obtenção de resultados relevantes para a análise da influência do uso e ocupação do solo na geração de escoamento superficial e carga difusa em bacia com as características apresentadas neste estudo .

5.1.1 Análise dos resultados obtidos para os cenários

As tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos para o volume médio anual de escoamento superficial produzido em cada sub-bacia e para cada cenário (Tabela 20) Os cenários 1 e 2 se referem ao uso e ocupação do solo atual para a discretização em cinco e dezessete sub-bacias, respectivamente. Os cenários 3 e 4 se referem ao uso e ocupação do solo previsto pelos Planos Diretores de Rio Claro e Santa Gertrudes. Os cenários 5 e 6 se referem ao uso e ocupação do solo previsto pelos Planos Diretores de Rio Claro e Santa Gertrudes; no entanto, com a visão pessimista de que na área onde o uso deve ser restrito a atividades de baixo impacto (Unidade de Conservação) permaneça o uso e ocupação do solo com agricultura e pastagens com práticas ruins de manejo.

Tabela 20: Volume médio anual de escoamento superficial (10^6 L) por sub-bacia para os cenários 1, 3 e 5

Sub-bacias	Cenário 1	Cenário 3	Cenário 5	Comparação (%)Cenários 1 e 3	Comparação (%)Cenários 1 e 5
1	49068,29	38284,16	48419,57	-21,98	-1,32
2	59794,46	56543,10	60351,56	-5,44	0,93
3	57679,04	58104,55	58848,23	0,74	2,03
4	24278,85	27612,10	27612,21	13,73	13,73
5	14130,43	15406,5	15407,37	9,03	9,03

Fonte: Autoria Própria

No geral, as sub-bacias apresentaram os comportamentos esperados com as mudanças de uso e ocupação do solo. A sub-bacia 2 apresentou os maiores volumes de escoamento nos cenários 1 e 5 devido ao uso e ocupação do solo prioritário de agricultura em condições ruins de manejo que favorece a produção de grandes volumes de escoamento, mesmo que esta região não apresente grandes áreas impermeáveis. Como no cenário 3 o uso e ocupação prioritário da sub-bacia 2 foi modificado para unidades de conservação, houve uma diminuição de cerca de 6% no escoamento gerado, mesmo com o incremento da área urbana que ocorreu nessa sub-bacia. A mesma situação pode ser observada na sub-bacia 1, no entanto, a proporção da redução foi maior (cerca de 22%). A alteração do uso e ocupação do solo atual, que era caracterizado por pastagens em condições ruins de manejo, para unidades de conservação no cenário 3 proporcionou um aumento da infiltração, provavelmente devido às características de compactação do solo presentes em áreas de pastagem degradas, que dificultam a infiltração, aumentando o escoamento superficial.

Para as sub-bacias que, no cenário 3, não apresentaram unidades de conservação (sub-bacias 4 e 5), houve aumento na geração de escoamento em comparação com o uso atual devido ao incremento da área urbana nessas regiões. Na sub-bacia 4, o aumento da área urbana de 12% para 23% gerou um incremento no escoamento de cerca de 14%. Para a bacia 5 este incremento foi de 9%, sendo que houve uma expansão urbana de 5% para 8%.

A sub-bacia 3 é a que possui a maior área impermeável em todos os cenários e apresenta grande área de vegetação nativa, que corresponde à Floresta FEENA. Sendo assim, ocorreram poucas modificações em relações aos cenários para essa

sub-bacia, visto que grande parte dela já apresenta os usos consolidados supracitados. No entanto, foi constatado que a presença da Unidade de Conservação no cenário 3 diminuiria o escoamento gerado pelo aumento das áreas urbanas nos cenários futuros. A falta de homogeneidade do uso e ocupação do solo nessa sub-bacia foi um dos principais fatores pelos quais optou-se por realizar uma maior discretização na área.

Interessante observar que houve pequeno incremento na geração de escoamento para o cenário 5 em comparação com o cenário 1. Este resultado aponta que, caso as áreas de APP fossem restauradas, o aumento da área urbana previsto pelos planos diretores resultaria em um pequeno incremento do escoamento em ralação à sub-bacia como um todo, atingindo um valor máximo de incremento de 14% na sub-bacia 4 que apresentou um grande crescimento na sua área impermeabilizada, passando de cerca de 12% para 23%.

A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos através da modelagem para os cenários que apresentam discretização em 17 sub-bacias. Para o cenário de uso e ocupação do solo atual (cenário 2), as regiões que apresentaram maior volume médio de escoamento são as sub-bacias na área norte da região de estudo. Estas sub-bacias apresentam as maiores áreas compostas por pastagens e agricultura, como por exemplo, a sub-bacia 1, que apresenta cerca de 83% de pastagem, e a sub-bacia 3, que apresenta cerca 92% de agricultura na sua área total. Os menores valores de escoamento foram obtidos em sub-bacias que apresentavam maior área de vegetação. Como exemplo, citam-se a sub-bacia 8, 9 e 10. A sub-bacia 7, apesar de apresentar grande parcela de vegetação em sua área (cerca de 70%), apresentou grande escoamento, provavelmente devido à presença de cerca de 29% de área impermeabilizada.

Tabela 21: Volume médio anual de escoamento superficial (10^6 L) por sub-bacia para os cenários 2, 4 e 6

Sub-bacias	Cenário 2	Cenário 4	Cenário 6	Comparação (%) - Cenários 2 e 4	Comparação (%) - Cenários 2 e 6
1	45494,54	42059,65	45517,81	-7,55	0,05
2	4686,11	4007,17	4783,284	-14,49	2,07
3	47880,05	46530,66	48274,73	-2,82	0,82
4	9116,84	10256,28	9237,922	12,50	1,33
5	17730,98	16076,96	16496,26	-9,33	-6,96
6	10884,45	10746,99	11749,09	-1,26	7,94
7	7659,194	7071,268	7671,234	-7,68	0,16
8	1720,678	591,86	2339,272	-65,60	35,95
9	328,116	50,684	171,2	-84,55	-47,82
10	21,464	18,956	18,956	-11,68	-11,68
11	10794,63	10819,72	10819,72	0,23	0,23
12	16913,47	17759,97	17795,14	5,00	5,21
13	3123,87	3681,53	3681,53	17,85	17,85
14	7319,292	6849,848	6849,848	-6,41	-6,41
15	4399,756	4072,90	4072,90	-7,43	-7,43
16	6249,042	5794,108	5794,108	-7,28	-7,28
17	1909,984	1930,794	1930,84	1,09	1,09

Fonte: Autoria Própria

Realizando uma comparação entre o cenário atual (cenário 2) e o cenário futuro otimista (cenário 4), as maiores mudanças foram observadas para as sub-bacias que apresentaram um baixo incremento da área urbana e a mudança do uso e ocupação do solo para unidades de conservação. As maiores reduções no escoamento foram observadas nas sub-bacias 9 (redução de cerca de 85%), 8 (redução de cerca de 66%).

Para as sub-bacias localizadas na região à montante, onde foi simulado a implantação das Unidades de Conservação, era esperado que houvesse uma diminuição maior na produção do escoamento. Porém, este fato não foi observado para todas as sub-bacias dessa região. No entanto, notou-se que todos os picos de escoamento dessas sub-bacias apresentaram reduções significativas, como por exemplo, a redução de 53% no pico do escoamento da sub-bacia 1 comparando o cenário 2 com o cenário 4. Em geral, para as sub-bacias localizadas mais à jusante, houve um aumento na geração de escoamento, que se deve ao incremento das áreas impermeabilizadas. O máximo incremento foi de 18% e ocorreu para a sub-

bacia 13, que teve sua área impermeabilizada modificada de 9,6% para 27,5% da sua área total.

Comparando o cenário 2 com o cenário 6, as variações foram menores, ressaltando que, mesmo com o incremento das áreas urbanas, caso houvesse a revegetação das áreas de APP, não ocorreria grandes impactos na geração de escoamento superficial. Um exemplo desta situação citada é a sub-bacia 7, que, mesmo com o aumento da área impermeabilizada de 29% no cenário atual para 33% no cenário futuro, apresentou um aumento no escoamento total muito pequeno (cerca de apenas 0,2%), provavelmente pela presença das áreas de APP. A sub-bacia 9 apresentou uma redução no escoamento de cerca de 48%, sendo uma das maiores variações obtidas para estes cenários. Apesar de não haver área impermeável nos cenários atual e futuro, esta sub-bacia para o cenário 6 apresentou um aumento da área de vegetação devido às áreas de APPs. Do contrário, algumas sub-bacias apresentaram um incremento do escoamento, sendo aquelas em que a revegetação das áreas de APPs não foi suficiente para conter o aumento do escoamento proveniente das áreas impermeáveis. Como por exemplo, a sub-bacia 13, que apresentou um aumento de 18% na geração de escoamento, devido ao incremento da área urbana de 9,7% para 27,4%.

5.2 Produção de cargas difusas na Bacia do Ribeirão Claro

5.2.1 Avaliação dos resultados obtidos para os cenários

- Cenário 1

Este cenário se refere ao uso e ocupação do solo atual para a discretização em cinco sub-bacias. Os resultados obtidos com a simulação podem ser observados na Tabela 22.

Tabela 22: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 1

Sub-bacias	N_total (kg/ha)	P_Total (kg/ha)	SST (kg/ha)	SDT (kg/ha)	DBO (kg/ha)	DQO (kg/ha)
1	95,47	10,45	1189,02	17005,75	105,80	812,85
2	209,68	49,81	4409,04	47090,15	220,59	832,00
3	135,27	26,35	2448,37	23170,84	395,17	1339,30
4	129,11	31,83	2769,55	28190,09	202,68	618,85
5	108,02	26,88	2297,94	24713,15	132,08	395,68

Fonte: Autoria Própria

Analisando os parâmetros adotados na modelagem, é possível observar que a produção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e sólidos foram maiores nas sub-bacias que apresentam uso e ocupação do solo com agricultura, sendo que os maiores valores foram referentes à sub-bacia 2.

A sub-bacia 3 apresentou-se intermediária na produção desses poluentes. Esse fato pode ter ocorrido, assim como na produção do escoamento, devido à variedade de usos e ocupações do solo. No entanto, para os poluentes DBO e DQO esta sub-bacia apresentou os maiores valores, visto que possuí a maior área urbana. ‘

- Cenário 2

Este cenário se refere ao uso e ocupação do solo atual para a discretização em dezessete sub-bacias. Os resultados obtidos com a simulação hidrológica podem ser observados na Tabela 23.

Tabela 23: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 2

Sub-bacias	N_total (kg/ha)	P_Total (kg/ha)	SST (kg/ha)	SDT (kg/ha)	DBO (kg/ha)	DQO (kg/ha)
1	96,53	9,36	1070,96	16993,86	114,32	848,08
2	85,29	7,99	1133,38	13714,39	86,46	856,76
3	261,57	64,24	5640,54	59832,36	259,99	927,36
4	211,35	50,80	4469,89	48038,40	210,83	780,54
5	131,00	22,72	2291,16	19404,83	445,33	1611,75
6	143,74	25,76	2472,78	27737,67	223,68	1041,07
7	97,68	11,57	1083,09	12235,38	441,66	1479,76
8	17,74	3,66	322,75	3882,49	18,26	80,52
9	8,71	1,61	145,10	1845,74	9,08	45,47
10	1,17	0,15	14,89	224,83	1,27	8,32
11	121,46	26,06	2452,21	15777,42	608,26	1788,34
12	112,88	26,80	2374,68	23858,43	190,30	621,84
13	101,26	25,36	2169,39	22716,45	147,02	423,77
14	112,17	28,23	2420,16	25986,58	122,95	373,24
15	182,46	39,93	3819,65	38510,98	178,50	945,19
16	113,84	28,40	2420,02	25358,77	176,03	498,87
17	178,78	36,68	4350,10	31551,61	158,04	1468,88

Fonte: Autoria Própria

As sub-bacias 1 e 2 apresentaram valores semelhantes de produção de cargas difusas, visto que estas possuem uso e ocupação do solo semelhantes (predominantemente pastagem). As sub-bacias 3 e 4 também apresentam usos parecidos; logo, a produção de cargas também se mostrou próxima. No entanto,

visto que na sub-bacia 4 há a presença de um remanescente de vegetação (cerca de 10% da área total) as cargas obtidas foram menores, provavelmente por este fato. A sub-bacia 5 apresentou altos valores de DBO e DQO pela presença da área urbana (cerca de 28% de área impermeável).

A sub-bacia 7 apresenta apenas área urbana (cerca de 30% da área total) e vegetação nativa (cerca de 70%). As altas cargas produzidas de DBO e DQO provavelmente são provenientes da área urbana. As sub-bacias 8, 9 e 10 apresentam os usos predominantes de agricultura e vegetação nativa. A sub-bacia 10 apresentou as menores cargas produzidas para todos os poluentes, conforme o esperado, visto que cerca de 82% da sua área total é coberta por vegetação nativa.

A partir da sub-bacia 11, os valores de carga produzidos, principalmente para os poluentes DBO e DQO, começam a aumentar novamente devido à presença da área urbana de Santa Gertrudes. A sub-bacia 11, apesar dos valores médios produzidos de nutrientes e sólidos, foi a sub-bacia que apresentou maiores valores de DBO e DQO devido à presença de área urbana em 55% da sua área total. A sub-bacia 17 apresenta grande área aberta e por isso, apresentou altos valores de DQO e sólidos. Além disso, também é predominante nessa sub-bacia a agricultura, resultando em altos valores de produção de carga de nutrientes.

- Cenário 3

O cenário 3 se refere ao uso e ocupação do solo previsto pelos Planos Diretores de Rio Claro e Santa Gertrudes. Os resultados obtidos com a simulação hidrológica podem ser observados na Tabela 24. Além disso, na Tabela 25 são apresentados os valores de redução ou incremento em comparação com o cenário atual.

Tabela 24: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 3

Sub-bacias	N_total (kg/ha)	P_Total (kg/ha)	SST (kg/ha)	SDT (kg/ha)	DBO (kg/ha)	DQO (kg/ha)
1	27,85	1,42	187,60	4583,54	38,14	279,16
2	72,72	3,74	491,92	11963,55	101,34	731,03
3	94,66	13,36	1195,32	11339,46	489,64	1509,26
4	138,99	34,18	2902,50	29146,23	301,43	821,45
5	116,78	29,09	2482,98	26370,99	161,23	468,99

Fonte: Autoria Própria

Tabela 25: Comparação em (%) de redução ou incremento em relação ao cenário 1 e 3

Sub-bacias	N_total	P_Total	SST	SDT	DBO	DQO
1	-70,83	-86,42	-84,22	-73,05	-63,95	-65,66
2	-65,32	-92,49	-88,84	-74,59	-54,06	-12,14
3	-30,02	-49,30	-51,18	-51,06	23,91	12,69
4	7,65	7,40	4,80	3,39	48,73	32,74
5	8,11	8,22	8,05	6,71	22,07	18,53

Fonte: Autoria Própria

Para a sub-bacia 1 e 2, houve uma redução em todos os contaminantes avaliados em comparação com o cenário atual (cenário 1). A maior redução foi observada para o fósforo (cerca de 87% para a sub-bacia 1 e cerca de 93% para a sub-bacia 2). Para estas sub-bacias, a maior parte da área, que antes era pastagem e agricultura, foi substituída por unidade de conservação.

Para a sub-bacia 3 houve um aumento na produção de DBO (24%) e DQO (13%). Este incremento pode ser explicado pelo aumento da área urbana nessa sub-bacia. Além disso, houve uma redução para os nutrientes e sólidos, possivelmente devido à criação da Unidade de Conservação na região ocupada pela agricultura no cenário 1.

As sub-bacias 4 e 5 reagiram da maneira esperada à mudança do uso e ocupação do solo. Pois nessas regiões houve o aumento das áreas urbanas e instalação das APPs. Sendo assim, observou-se um incremento na produção de poluentes, sendo mais expressivo para os poluentes relacionados à área urbana.

Em relação a bacia total houve uma grande redução na produção de poluentes de origem difusa considerando este cenário.

- Cenário 4

O cenário 4 se refere ao uso e ocupação do solo previsto pelos Planos Diretores de Rio Claro e Santa Gertrudes. Os resultados obtidos com a simulação hidrológica podem ser observados na Tabela 26. Além disso, na Tabela 27 são apresentados os valores de redução ou incremento em comparação com o cenário atual.

Tabela 26: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 4

Sub-bacias	N_total (kg/ha)	P_Total (kg/ha)	SST (kg/ha)	SDT (kg/ha)	DBO (kg/ha)	DQO (kg/ha)
1	73,92	3,60	486,69	12301,23	93,77	726,87
2	83,84	3,82	534,43	14124,54	93,93	803,35
3	88,74	4,04	566,38	14922,66	99,48	851,70
4	83,75	3,81	534,33	14088,82	93,87	803,43
5	102,81	18,33	1536,27	9288,98	751,82	2024,32
6	94,92	7,95	839,92	13831,81	275,68	1187,05
7	99,49	12,42	1144,21	12086,21	479,49	1555,64
8	2,83	0,13	18,35	466,61	3,20	27,70
9	0,71	0,03	4,64	116,22	0,81	7,02
10	0,75	0,03	4,86	121,66	0,84	7,35
11	104,85	21,05	1770,51	13255,38	606,93	1628,72
12	120,69	29,52	2509,34	25344,71	257,48	708,23
13	104,94	25,58	2168,93	21359,75	258,19	696,33
14	100,96	25,28	2155,40	22768,56	143,21	410,04
15	173,21	41,16	3500,85	34880,3	429,28	1188,23
16	108,01	27,00	2305,60	24588,40	140,65	411,09
17	224,33	55,55	4761,25	52231,36	225,20	715,20

Fonte: Autoria Própria

Tabela 27: Comparação em (%) de redução ou incremento em relação ao cenário 2 e 4

Sub-bacias	N_total	P_Total	SST	SDT	DBO	DQO
1	-23,42	-61,54	-54,56	-27,61	-17,98	-14,29
2	-1,70	-52,24	-52,85	2,99	8,65	-6,23
3	-66,07	-93,71	-89,96	-75,06	-61,74	-8,16
4	-60,37	-92,49	-88,05	-70,67	-55,48	2,93
5	-21,52	-19,34	-32,95	-52,13	68,82	25,60
6	-33,96	-69,13	-66,03	-50,13	23,25	14,02
7	1,85	7,35	5,64	-1,22	8,57	5,13
8	-84,03	-96,43	-94,32	-87,98	-82,49	-65,59
9	-91,82	-97,95	-96,80	-93,70	-91,12	-84,56
10	-36,43	-77,47	-67,39	-45,89	-33,35	-11,68
11	-13,68	-19,22	-27,80	-15,99	-0,22	-8,93
12	6,92	10,15	5,67	6,23	35,30	13,89
13	3,64	0,89	-0,02	-5,97	75,61	64,32
14	-10,00	-10,47	-10,94	-12,38	16,48	9,86
15	-5,07	3,06	-8,35	-9,43	140,49	25,71
16	-5,12	-4,90	-4,73	-3,04	-20,10	-17,60
17	25,48	51,44	9,45	65,54	42,50	-51,31

Fonte: Autoria Própria

Para as sub-bacias à montante, principalmente a 1, 2, 3 e 4, onde praticamente toda a área foi transformada em unidade de conservação, em comparação com o cenário atual, houve uma redução em todos os contaminantes avaliados. Essa redução foi maior para os nutrientes nas sub-bacias 3 e 4, onde o uso predominante atual é a agricultura. Para as sub-bacias 5 e 6 houve um aumento na produção de DBO e DQO, apesar da redução dos demais poluentes. Esse aumento deve-se ao fato de que houve um incremento significativo na área urbana dessas sub-bacias. Por outro lado, a área de pastagem e agricultura no uso atual, torna-se unidade de conservação nesse cenário, levando a redução da produção de nutrientes e sólidos. A sub-bacia 7 apresenta uma pequena mudança entre o cenário atual e o cenário futuro que corresponde ao aumento da área urbana (de 29% para 32%) e a criação das áreas de APP ao longo dos rios. Essa situação resulta em um aumento na produção de contaminantes. No entanto, esse aumento na produção das cargas é pequeno e provavelmente seria maior caso não existisse o reflorestamento das áreas de APPs.

As sub-bacias 8 e 9 apresentam redução significativa na produção de cargas difusas de todos os poluentes avaliados. Isso era o esperado, visto que nessas sub-bacias não há a presença de área urbana e toda a região onde o uso era considerado agricultura para o cenário atual torna-se unidade de conservação nesse cenário. O mesmo ocorre com a sub-bacia 10, no entanto essa redução ocorre em proporções menores visto que a maior parte dessa sub-bacia já era coberta por vegetação nativa no cenário atual.

A sub-bacia 11 apresenta um incremento na área urbana, de cerca de 1%. No entanto, como há a criação das áreas de APP houve uma redução das cargas difusas produzidas. A sub-bacia 12 foi a única que, para este cenário, apresentou aumento na produção de cargas difusas em comparação com o cenário atual para todos os poluentes, esse fato pode ser resultado do grande incremento da área urbana, que passou de 13% para 22%.

Para as sub-bacias 13 e 14, houve uma redução na geração dos nutrientes e sólidos e aumento na produção de DBO e DQO em comparação com o cenário atual. O aumento dos poluentes DBO e DQO para essas sub-bacias pode ser explicado pelo

incremento significativo na área urbana, que passou de 9% para 27% na sub-bacia 13, por exemplo.

A sub-bacia 15, que no cenário atual não apresentava área urbana, neste cenário apresentou 27% da sua área total composta por uso urbano. Essa expansão urbana ocorreu em área aberta ou com a presença de agricultura no uso atual. Sendo assim, apesar da existência da área urbana houve redução na produção de carga difusa de todos os contaminantes, com exceção da DBO, que é um poluente característico de zonas urbanas. Na sub-bacia 17 houve um aumento na produção de todos os poluentes, com exceção da DQO, que apresentou uma redução significativa, devido ao aproveitamento da área considerada “espaço aberto” no cenário atual pela agricultura no cenário futuro.

- Cenário 5

O cenário 5 se refere ao uso e ocupação do solo previsto pelos Planos Diretores de Rio Claro e Santa Gertrudes, no entanto com a visão pessimista. Os resultados obtidos com a simulação hidrológica podem ser observados na Tabela 28. Além disso, na Tabela 29 são apresentados os valores de redução ou incremento em comparação com o cenário atual.

Tabela 28: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 5

Sub-bacias	N_total (kg/ha)	P_Total (kg/ha)	SST (kg/ha)	SDT (kg/ha)	DBO (kg/ha)	DQO (kg/ha)
1	97,96	12,10	1182,26	18574,59	124,03	739,74
2	230,65	57,31	4906,61	53309,10	252,97	780,41
3	173,96	40,79	3450,25	32158,69	569,86	1528,72
4	138,99	34,18	2902,51	29146,34	301,44	821,45
5	116,79	29,09	2483,12	26372,51	161,24	469,02

Fonte: Autoria Própria

Tabela 29: Comparação em (%) de redução ou incremento em relação ao cenário 1 e 5

Sub-bacias	N_total	P_Total	SST	SDT	DBO	DQO
1	2,61	15,78	-0,57	9,23	17,23	-8,99
2	10,00	15,06	11,29	13,21	14,68	-6,20
3	28,60	54,80	40,92	38,79	44,21	14,14
4	7,65	7,40	4,80	3,39	48,73	32,74
5	8,11	8,23	8,06	6,71	22,08	18,53

Fonte: Autoria Própria

Neste cenário, em geral, houve um aumento na geração dos poluentes em comparação com o cenário atual. Para a sub-bacia 1 esse aumento foi de 3% para o nitrogênio, 16% para o fósforo, 9% para SDT e 17% de DBO em comparação com o cenário atual. Esses aumentos eram esperados pelo incremento da área urbana. No entanto, houve uma redução de 9% na geração de DQO, provavelmente pelo aproveitamento dos espaços abertos para a pastagem. A sub-bacia 2 seguiu a tendência da sub-bacia 1. A sub-bacia 3 foi a que apresentou os maiores incrementos na geração de poluentes. Isto se deu devido ao aumento da área urbana e manutenção da área de unidade de conservação com o uso de agricultura. Esse aumento chegou a 54,8% para o poluente fósforo, 44% para o poluente DBO, 41% para SST, 39% para SDT, 29% para nitrogênio total e 14% para DQO. Para as sub-bacias 4 e 5 não houve mudança entre o cenário futuro otimista e o pessimista. Sendo assim, as análises podem ser observadas nas discussões feitas para o cenário 3.

- Cenário 6

O cenário 6 se refere ao uso e ocupação do solo previsto pelos Planos Diretores de Rio Claro e Santa Gertrudes, no entanto com a visão pessimista para a discretização com dezessete sub-bacias. Os resultados obtidos com a simulação hidrológica podem ser observados na Tabela 30. Além disso, na Tabela 31 são apresentados os valores de redução ou incremento em comparação com o cenário atual.

Tabela 30: Síntese dos resultados obtidos para a geração de carga difusa do cenário 6

Sub-bacias	N_total (kg/ha)	P_Total (kg/ha)	SST (kg/ha)	SDT (kg/ha)	DBO (kg/ha)	DQO (kg/ha)
1	99,53	10,67	1082,94	18493,54	119,96	786,73
2	102,15	14,28	1358,28	20291,30	108,86	673,27
3	270,54	67,53	5781,63	63131,63	271,34	847,20
4	228,24	56,67	4855,30	53174,56	229,06	723,62
5	140,20	30,92	2571,22	18687,63	806,41	2081,56
6	219,12	51,23	4396,36	46724,75	393,41	1187,73
7	99,49	12,42	1144,21	12086,17	479,49	1555,63
8	26,14	5,67	496,13	5816,40	26,73	109,48
9	3,51	0,48	46,05	687,15	3,75	23,73
10	0,75	0,03	4,86	121,66	0,84	7,35
11	104,85	21,05	1770,51	13255,38	606,93	1628,72
12	122,10	29,99	2547,88	25705,71	259,12	709,67
13	104,94	25,58	2168,93	21359,75	258,19	696,33
14	100,96	25,28	2155,40	22768,56	143,21	410,04
15	173,21	41,16	3500,85	34880,3	429,28	1188,23
16	108,01	27,00	2305,60	24588,40	140,65	411,09
17	224,34	55,55	4761,37	52232,60	225,21	715,22

Fonte: Autoria Própria

Tabela 31: Comparação em (%) de redução ou incremento em relação ao cenário 1 e 5

Sub-bacias	N_total (kg)	P_Total (kg)	SST (kg)	SDT (kg)	DBO (kg)	DQO (kg)
1	3,10	13,93	1,12	8,82	4,94	-7,23
2	19,77	78,72	19,84	47,96	25,91	-21,42
3	3,43	5,11	2,50	5,51	4,37	-8,64
4	7,99	11,56	8,62	10,69	8,65	-7,29
5	7,03	36,09	12,22	-3,70	81,08	29,15
6	52,44	98,92	77,79	68,45	75,88	14,09
7	1,85	7,35	5,64	-1,22	8,57	5,13
8	47,37	55,02	53,72	49,81	46,41	35,96
9	-59,76	-70,18	-68,26	-62,77	-58,65	-47,82
10	-36,43	-77,47	-67,39	-45,89	-33,35	-11,68
11	-13,68	-19,22	-27,80	-15,99	-0,22	-8,93
12	8,17	11,90	7,29	7,74	36,16	14,12
13	3,64	0,89	-0,02	-5,97	75,61	64,32
14	-10,00	-10,47	-10,94	-12,38	16,48	9,86
15	-5,07	3,06	-8,35	-9,43	140,49	25,71
16	-5,12	-4,90	-4,73	-3,04	-20,10	-17,60
17	25,48	51,44	9,45	65,55	42,50	-51,31

Fonte: Autoria Própria

Em um contexto geral, as sub-bacias 1, 2, 3 e 4 responderam da mesma forma a este cenário. Ou seja, houve um aumento da produção de carga difusa em comparação com o cenário atual para quase todos os poluentes, com exceção do DQO, que sofreu uma redução proveniente, provavelmente, da exclusão da classe “espaços abertos” e aproveitamento desta área na agricultura e pastagem. Além disso, nessas sub-bacias o incremento da área urbana não foi tão significativo. Dessa forma, a variação entre a situação atual e este cenário não foi tão expressiva.

Como houve um incremento da área urbana na sub-bacia 5, foi possível observar um aumento na geração da maior parte dos poluentes em comparação com o cenário atual. O mesmo ocorreu com a sub-bacia 7 porem em uma proporção menor, visto que, além da área urbana ter aumentado em proporções menores, há a presença da vegetação nativa que foi mantida para este cenário. Para sub-bacia 6 houve um aumento na geração de todos os poluentes, provavelmente devido ao incremento da área urbana, que passou de 6% no cenário atual para 14% no cenário futuro e pela redução de uma parcela da vegetação nativa que nesse cenário tornou-se agricultura, restando apenas as áreas de APP.

Não eram esperadas alterações significativas para as sub-bacias 8, 9 e 10, visto que, nessas áreas apenas há a presença da agricultura e vegetação nativa assim como no cenário atual. No entanto, a criação das áreas de APP provocou uma redução grande na geração de poluentes nas sub-bacias 9 e 10. Por exemplo, para a sub-bacia 9, houve uma redução de 60% na geração de nitrogênio, 70% de fósforo, 68% de SST e 63% de SDT. No entanto, na sub-bacia 8 houve um aumento das áreas de agricultura, que levou a uma maior geração dos poluentes de origem difusa.

A partir da sub-bacia 10 não houve diferença entre o uso e ocupação do solo no cenário futuro otimista e pessimista, pelo fato de que não há presença de unidades de conservação nessas sub-bacias. Logo as discussões pertinentes já foram feitas.

No geral, ambos o cenário futuro (otimista e pessimista) apresentaram reduções na geração das cargas difusas. No entanto, essas reduções atingiram valores muito maiores no cenário otimista. Além disso, no cenário pessimista, provavelmente devido ao aumento da área urbana houve um incremento na produção de DBO em

quase todas as sub-bacias. Sendo que, no cenário otimista, mesmo com a expansão urbana houve redução da geração de DBO em comparação com o cenário atual.

No Anexo 3 pode ser observado os gráficos de comparação entre os cenários propostos para a carga difusa produzida em cada sub-bacia. Esses gráficos foram plotados com o objetivo de facilitar a visualização e comparação dos resultados.

5.3 Comparação entre as duas discretizações propostas

O objetivo da proposta de duas discretizações foi avaliar como se dava o comportamento dos resultados para essas duas situações distintas. Foi possível concluir que, no geral, os resultados apresentaram semelhanças, como por exemplo, o fato de que as sub-bacias à montante apresentaram maiores escoamentos do que as sub-bacias à jusante.

No entanto, para a discretização com cinco sub-bacias foi possível observar uma suavização dos dados, pelo fato de que o uso e ocupação do solo muito diverso em algumas bacias mascararam os resultados que eram esperados. Com a maior divisão das áreas fica mais fácil avaliar como cada tipo de uso e ocupação do solo influencia na geração de escoamento e carga difusa.

Os resultados obtidos em cada cenário apresentam erros de continuidade. Esses erros são provenientes do balanço hídrico realizado pelo modelo (diferença entre o armazenamento final e inicial) e seus valores podem ser observados na Tabela 32.

Tabela 32: Erros de continuidade (%) obtidos para cada cenário

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Escoamento Superficial	-0,066	-0,087	-0,079	-0,095	-0,084	-0,102

Fonte: Autoria Própria

No geral, os cenários com maior discretização se mostraram mais instáveis e com erros de continuidade maiores. No entanto, para ambos os cenários os erros se encontram bem pequenos. Segundo Rossman (2010) erros menores que 10% são aceitáveis. Essa situação de aumento de instabilidade com o aumento das sub-bacias também foi observada por Silva (2010) que avaliou duas discretizações distintas para a bacia do Rio Jiquiá, em Recife. A discretização em 14 sub-áreas apresentou o erro de -2,175% e para a discretização em 282 sub-áreas obteve-se o erro de -7,539%.

5.4 Avaliação da variação dos hidrogramas de um evento de cheia para os diferentes cenários

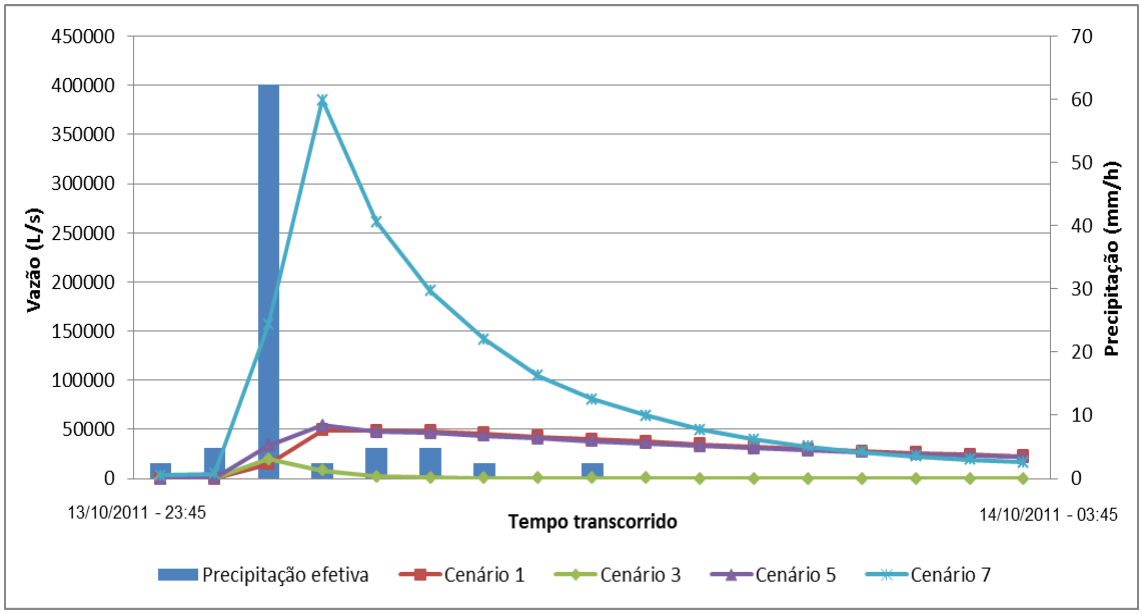
Com o objetivo de avaliar os hidrogramas produzidos para cada um dos cenários propostos, foi selecionado um evento de precipitação com duração de 240 minutos que ocorreu na madrugada do dia 13/10/2011.

Para essa avaliação foi considerado mais um cenário de uso e ocupação do solo. Esse cenário reflete um caso extremo de ocupação da bacia, composto por 100% de áreas impermeáveis. Apesar de uma situação extrema, é cada vez mais recorrente esse fato. Sendo assim, este foi considerado o cenário de número 7, que corresponde a 100% do uso e ocupação do solo com área impermeável. Este cenário também foi avaliado por Gurgel (2016) para uma bacia hidrográfica localizada em Natal/RN, representando um estado crítico de ocupação do solo.

Além disso, foi considerada a discretização apenas das 5 sub-bacias, primeiramente pelo fato de ter apresentado menor erro e, em segundo lugar, devido à dificuldade de visualização dos diferentes hidrogramas ao representar muitos cenários e sub-bacias em um mesmo gráfico. As figuras a seguir apresentam, por sub-bacia, a comparação entre os hidrogramas produzidos para cada um dos cenários avaliados.

Os resultados obtidos para a sub-bacia 1 podem ser observados na Figura 14. Claramente, o cenário 3 apresentou os menores valores de escoamento, como era esperado, visto que, neste cenário, toda a área da sub-bacia 1 tornou-se Unidade de Conservação. Os cenários 1 e 5 apresentaram poucas diferenças entre si, visto que foram considerados pequenos aumentos da área urbana nessa sub-bacia. Ainda assim, o pico de escoamento no cenário 5 apresentou-se maior do que no cenário 1, provavelmente devido ao incremento da área urbana. O cenário 7, como esperado apresentou o maior pico de escoamento.

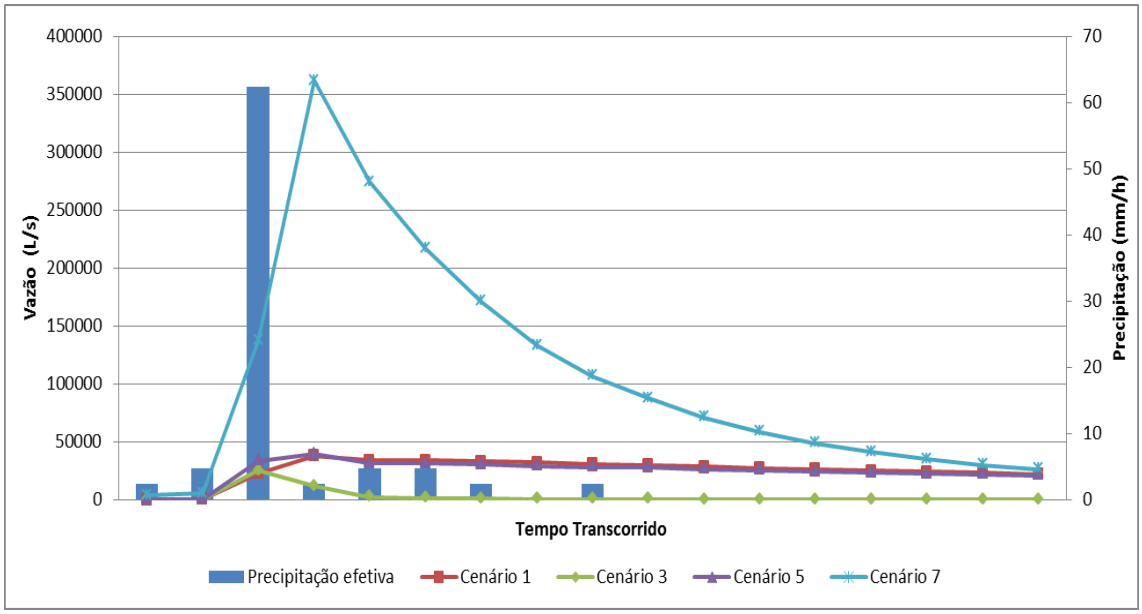
Figura 14: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 1.



Fonte: Autoria Própria

Os resultados obtidos para a sub-bacia 2 podem ser observados na Figura 15. O formato dos hidrogramas foram parecidos aos obtidos na sub-bacia 1. No entanto, os picos de escoamento foram, em geral, menores devido ao uso e ocupação caracterizado por agricultura e pelo fato de que a declividade média da sub-bacia 1 ser maior do que a da sub-bacia 2.

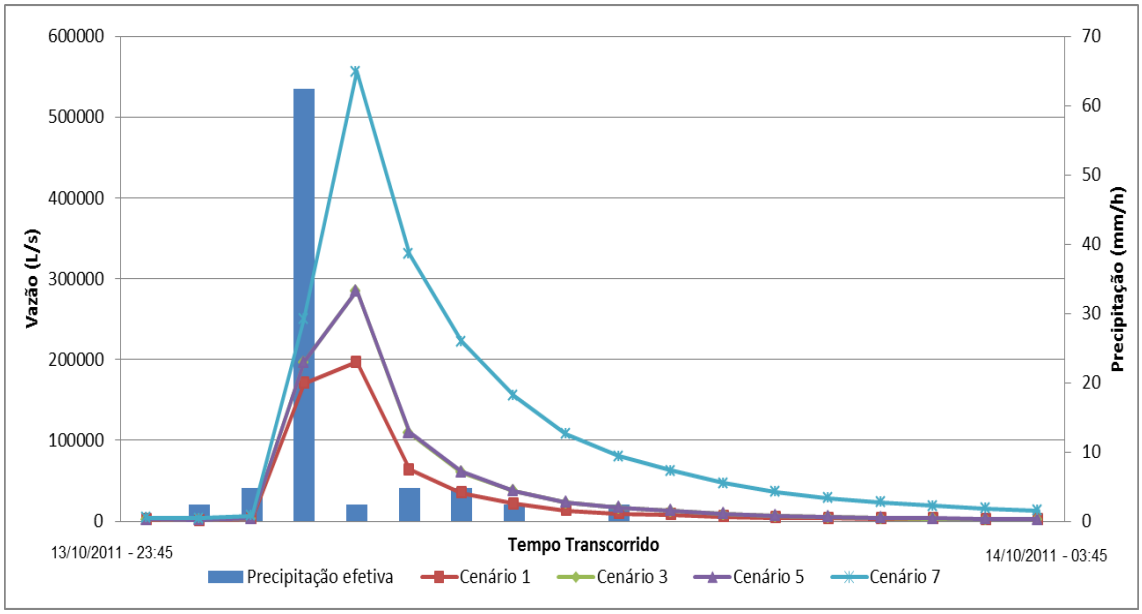
Figura 15: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 2**.**



Fonte: Autoria Própria

Os resultados obtidos para a sub-bacia 3 podem ser observados na Figura 16. Devido à grande área urbana, nesta sub-bacia foram encontrados os maiores picos de escoamento. O escoamento simulado para o cenário 1 apresentou os menores valores em relação aos outros três cenários. A consideração da unidade de conservação no cenário 3, não foi suficiente para reduzir o pico de escoamento, provavelmente devido ao aumento da área urbana. Analisando o gráfico não é possível visualizar a diferença entre os cenários 3 e 5, mas a presença da Unidade de Conservação nessa sub-bacia para o cenário 3 fez com que os valores de vazão de escoamento fossem um pouco menores, em comparação com os obtidos para o cenário 5.

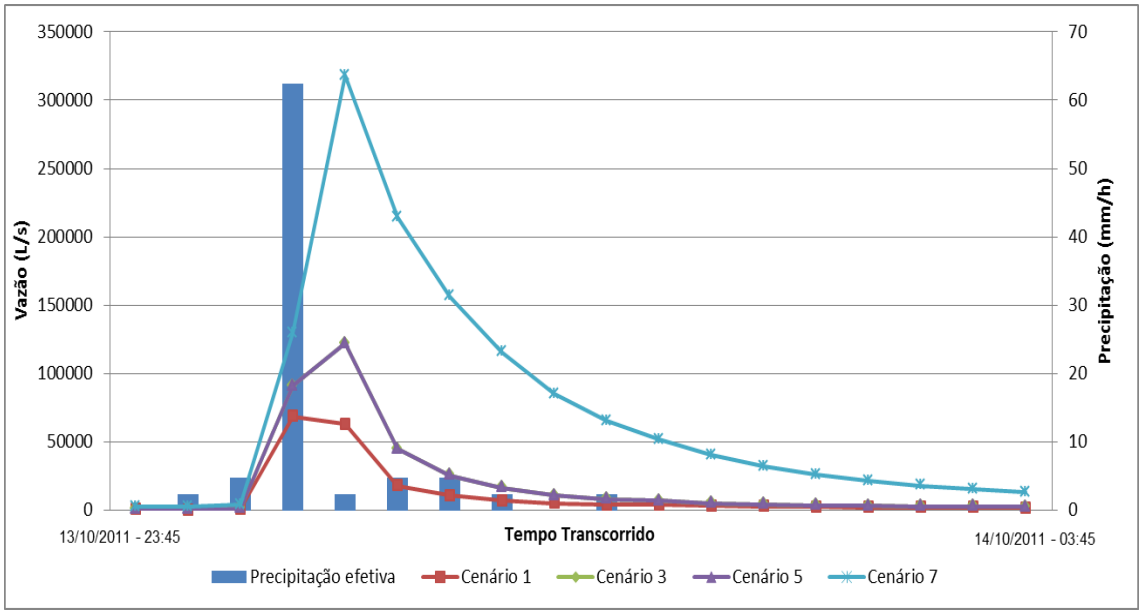
Figura 16: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 3.



Fonte: Autoria Própria

Os resultados obtidos para a sub-bacia 4 podem ser observados na Figura 17. Como esperado, essa sub-bacia também apresentou picos de escoamentos altos em comparação às sub-bacias com uso prioritariamente rural. Para as sub-bacias 4 e 5 não houve mudanças em relação ao uso e ocupação do solo nos cenários 3 e 5, sendo assim, apresentaram hidrogramas semelhantes.

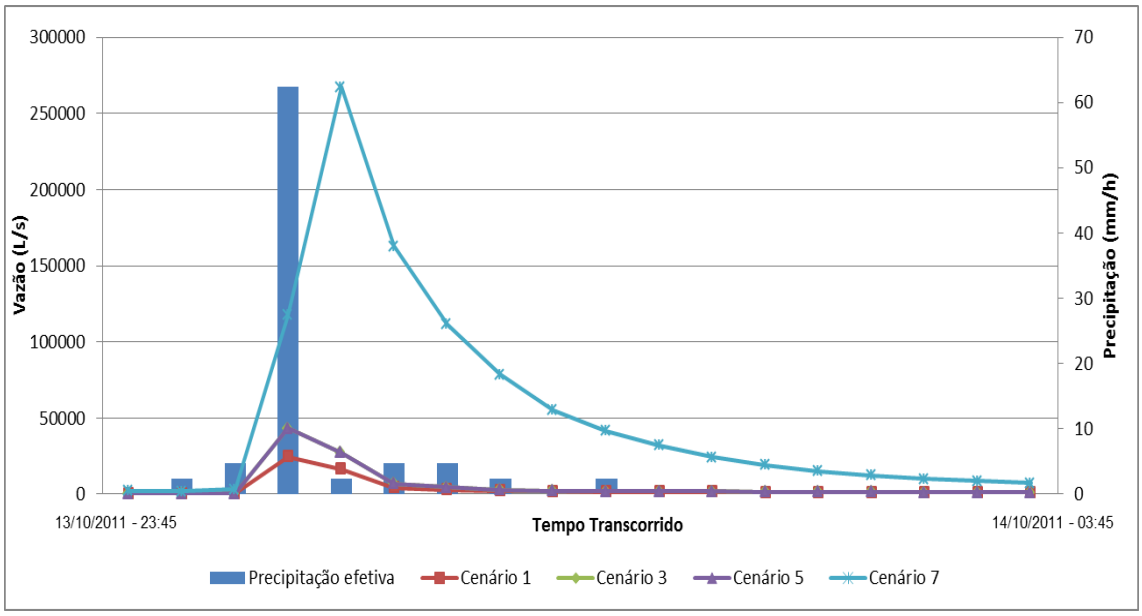
Figura 17: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 4.



Fonte: Autoria Própria

Os resultados obtidos para a sub-bacia 5 podem ser observados na Figura 18. As análises feitas para a sub-bacia 4 podem ser estendidas para a sub-bacia 5, sendo que os picos de escoamento foram menores para esta do que para a primeira, devido à presença de maior área urbana na sub-bacia 4.

Figura 18: Hidrograma obtido pela modelagem para os diferentes cenários considerando um evento de precipitação na sub-bacia 5.



Fonte: Autoria Própria

Para todas as sub-bacias foi possível observar que quanto maior a área impermeável, maiores são as vazões. Além disso, foi verificado que, para o cenário atual, a sub-bacia 3 apresentou altos picos de escoamento superficial pelo fato de estar urbanizada e já sofrer com os impactos gerados pela ocupação. Além disso, foi possível observar que o aumento das áreas impermeáveis nessa sub-bacia conduziu a um grande incremento nos escoamentos. As sub-bacias 1 e 2, por apresentarem áreas com uso rural, corresponderam aos menores picos.

Foi observada, na maior parte dos hidrogramas, rápida resposta do escoamento após a precipitação. Este fato também foi avaliado por Junior (2016), Souza et al (2012) e Silva (2010). Além disso, foi possível notar que os hidrogramas que representam o escoamento em áreas com baixos usos urbanos, se apresentam mais amortizados quando comparados a áreas com maiores zonas urbanas.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram realizadas simulações com a aplicação do modelo SWMM para diferentes cenários de uso e ocupação do solo com o objetivo de analisar o escoamento superficial e as cargas de poluição difusa produzidas em cada sub-bacia. Além disso, foram consideradas duas discretizações distintas com o objetivo de mensurar qual nível necessário de subdivisões para uma boa representação da região.

A interface do modelo SWMM se mostrou simples e didática. Esta condição permite a análise de efeitos de alterações de uso e ocupação do solo sobre escoamentos superficiais e geração de cargas difusas e de intervenções que podem ser feitas em uma bacia para melhoria quanto a redução de picos de enchentes e concentrações de poluentes. No entanto, o modelo requer uma série de dados de entrada que apenas são obtidos através de monitoramentos hidrológicos, fato que dificultou o andamento do estudo, visto que por diversas vezes foi necessário recorrer a trabalhos feitos anteriormente para a área de estudo ou dados disponíveis na literatura. Além disso, muitos dos dados de entrada são provenientes de softwares de geoprocessamento e não há para o SWMM uma ferramenta de integração desses softwares.

Com as simulações hidrológicas realizadas, foi possível concluir que as diretrizes dispostas nos Planos Diretores dos Municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes, caso sejam cumpridas, apresentarão reduções dos picos de escoamento e da geração de cargas difusas e, consequentemente, melhoria da qualidade da água na Bacia do Ribeirão Claro, mesmo com a expansão urbana na região. As simulações demonstraram que estas reduções seriam muito mais significativas para as áreas onde são propostas unidades de conservação. Além disso, foi possível observar que, mesmo que não sejam respeitadas as diretrizes de transformação da área a montante da Bacia em Unidade de Conservação, ocorrerão mudanças positivas, caso haja restauração das áreas de APP, mesmo com a expansão urbana na região.

Os valores de escoamento superficial e de cargas difusas simulados no estudo devem ser considerados com cautela, tendo em vista que não foi possível a calibração do modelo. Recomenda-se que, em trabalhos futuros, seja buscada a calibração, através de monitoramentos de campo para obtenção de dados de entrada, além da consideração de fontes pontuais de lançamentos de efluentes domésticos e industriais que estão presentes na área de estudo.

7. REFERÊNCIAS

ASCE - American Society of Civil Engineers. **Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems**. New York: American Society of Civil Engineers and the Water Environment Federation, 1992.

APRÍGIO, P.O. **Avaliação de Modelos de Simulação de Cargas Difusas em Bacias Urbanas.** 131 f. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

ARHEIMER, B.; OLSSON, J. **Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models**: Applications in Europe. Norrköping: Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), 2003.

BAIRD, C., M. JENNINGS. **Characterization of Nonpoint Sources and Loadings to the Corpus Christi Bay National Estuary Program Study Area**, Corpus Christi: Texas Natural Resource Conservation Commission, 1996.

BERTONI, J.C. **Simulação Matemática de uma Cheia Urbana sob condições de registros escassos:** Aplicação do Modelo SWMM**.** Porto Alegre: ABRH, 1998.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Brasília, 1981.

CEPAGRI – CENTRO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos Municípios Paulista**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br>. Acesso em 20 de abril de 2018

CERRI, M. S. **Proposta metodológica para estudo de microbacias hidrográficas urbanizadas: o exemplo do Córrego Lavapés, Rio Claro (SP).** 184 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. 1999.

CETRA, M. **Caracterização das assembléias de peixes da Bacia do Rio Corumbatai (SP).** 90 f. Tese (Doutorado); Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Paulo, 2003.

CHRISTOFOLETTI, S.G., CONCEIÇÃO, F. T., SPATTI JUNIOR, E. P. Relações hidroquímicas aplicadas a avaliação da qualidade da água na bacia do Córrego Ibitinga, Rio Claro (SP). **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 34, n. 2, p. 224-237, 2015.

COBRAPE/DAEE. **Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010-2020**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2007.

COLLODEL, M. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 221 f. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 2009.

COSTA, M.E.L. **Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do Lago Paranoá**. 203 f. Dissertação de Mestrado - Tecnologia Ambiental e Recursos hídricos, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2013.

CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B.; BRAGA, R. Diagnóstico dos Elementos de Drenagem da Área Urbana de Rio Claro-SP: subsídios para o Plano Diretor**. REA – Revista de estudos ambientais (Online)**, v.11, n. 2, p. 88-100, 2009.

D'ARCY, B. J., ELLIS, J.B., FERRIER, R. C., JENKINS, A. S., DILLS, R.. **Diffuse Pollution Impacts**. Lavenham, Suffolk: Terence Dalton Publishers, 2000.

DEUS, A.B., SANTOS, B.S., DE LUCA, S.J. Qualidade da Drenagem pluvial rural vs preservação e proteção da vida aquática. **Avaliação e controle da drenagem urbana,** Porto Alegre, ABRH, v.2, p. 111 – 123, 2001.

ECOSBIO. **Diagnóstico ambiental e desenvolvimento de sistemas de implementações de projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água** – Volume I: Levantamento básico do Município. Rio Claro: FEHIDRO, 2014.

ENGEL, B. **L-THIA NPS: Long-Term Hydrologic Impact Assessment and Non Point Source Pollutant Model**. Versão 2.1. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2005.

FONSECA, W.C. **Ajuste do modelo Qual2K e simulação de cenários para o Ribeirão Claro**. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado – Engenharia ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Univestidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

GALAVOTTI, R.C. **Proposta de um modelo de gestão integrada de águas urbanas em escala de lote residencial: Alcances e Limitações**. 278 f. Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D.; BRITES, A. P. Z.; PAIVA, R. C. D. Avaliação da discretização em uma bacia hidrográfica urbana, através do modelo SWMM. **Anais do XXI Congresso Latioamericano de Hidráulica**, São Pedro, 2004.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. Comparação das Respostas do Modelo SWMM para Diferentes Amplitudes de Cheia. **Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul**, Santa Maria, vol 1, p. 1-17, 2005.

GUALDANI C., BRAGA R., OLIVEIRA B. C. Transformações do uso do solo em áreas de transição rural-urbana no município de Rio Claro – SP. **III Simpósio Nacional de Geografia Agrária – II Simpósio Internacional de Geografia Agrária Jornada Ariovaldo Umbelino de Oliveira**, Presidente Prudente, 2005.

GURGEL, G.M. **Crescimento urbano e seus impactos no sistema de drenagem de uma Bacia em Natal/RN.** 84 f. Dissertação de mestrado (Engenharia Sanitária) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

HARDT, R. A. **Identificação e diagnóstico dos impactos ambientais ocorridos nos cursos d'água localizados na faixa oeste da Floresta Estadual "Edmundo Navarro de Andrade" (Rio Claro/SP).** 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

HEC (HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER). **Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model "STORM"**. Davis: US Army Corps of Engineers,1977.

JUNIOR, E.W.L. **Avaliação da influência do uso e cobertura do solo em parâmetros quantitativos e de qualidade da água na sub-bacia Tamanduá (DF)**. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2016.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, J. R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

LUAN, Q. et al. Runoff Effect Evaluation of LID through SWMM in Typical Mountainous, Low-Lying Urban Areas: A Case Study in China. **Water,** v. 9, n. 6, p. 439, 2017.

MAY, S.; PRADO, R.T.A. Estudo da Qualidade da Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações. **Anais da I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável**, São Paulo, 2004.

MURAKAMI, M. F. **Caracterização físico-química e microbiológica de diferentes amostras de uma precipitação coletada e armazenada após passagem por telhado**. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2007.

NAKADA, L. Y. K., MORUZZI, R. B. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. **Eng. Sanitário Ambiental. [online]**, vol.19, n.1, pp.1-9, 2014.

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R. **Soil and Water Assessment Tool:** Theoretical Documentation. Texas: Texas Water Resources Institute Technical, 2005.

NOVOTNY, V. **Urban diffuse pollution:** sources and abatement. 1ªed. Boston: Water Environment & Technology, 1991.

NOVOTNY, V., OLEM, H. **Water Quality:** Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

PARKINSON, J., MILOGRANA, J., CAMPOS, L.C., et al. **Relatório do Workshop - Drenagem Urbana Sustentável**. Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Water Engineering and Development Centre, Loughborough University, Goiânia, 2003.

PORTO, R. L. L. **Hidrologia Ambienta**l. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

PORTO, R.; ZAHED, K, F.; TUCCI, C.; BIDONE, F. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Hidrologia: ciência e aplicação, 1993.

PREFEITURA DE RIO CLARO**.** Lei Complementar Nº 0128/2017. **Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Rio Claro**. Rio Claro, 2017.

PREFEITURA DE RIO CLARO. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Novaes Engenharia, Rio Claro, 2014. Disponível em: <http://www.rioclaro.sp.gov.br/planodesaneamento/planodesaneamentopopup.php>. Acesso em abril de 2018.

PREFEITURA DE SANTA GERTRUDES. Lei Complementar Nº 1883/2002. **Dispõe sobre o Plano diretor de Santa Gertrudes**. Santa Gertrudes, 2002.

PREFEITURA DE SANTA GERTRUDES. Lei Complementar Nº 2003/2005**. Introduz alterações no Plano diretor de Santa Gertrudes**. Santa Gertrudes, 2005.

PREUSS, S.L.C.; SILVA, A.A.S.; BRAGA, R.A.P.; CABRAL, J.J.S.P. Adequação estrutural e ambiental para a drenagem urbana sustentável: O caso do Recife, Pernambuco. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Maceió, 2011.

PRODANOFF, J.H.A. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. 266 f. Tese de doutorado – Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

PROESPLAN. **Plano de Drenagem de Santa Gertrudes**. Santa Gertrudes, 2013. Disponível em:<https://www.santagertrudes.sp.gov.br/.../261-Plano-de-Sanamento-Drenagem-Vol-I.pdf> . Acesso em 15 de abril de 2018.

REIMOLD, R. J. **Watershed Management:** Practice, Policies and Coordination. Nova York: McGraw-Hill. 1998.

ROSSMAN, L. A. **SWMM:** Manual do Usuário. 5ª ed. Cincinnati: Water Supply and Water Resources Division, 2010.

RENNÓ, C. D.; Soares, J. V. **Conceitos básicos de modelagem hidrológica**. Disponívelem:http://www.dpi.impe.br/cursos/modelagem/cap2_momdelos_hidrol[ogic os. Pdf. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

ROCHA, Nayda. **Planejamento urbano da bacia do Córrego Samambaia (Goiânia - GO) utilizando o SWMM - Storm Water Management Model.** 91 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2013.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: Revisado e Ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.05-18, 2005.

SILVA, P.O. **Análise de técnicas compensatórias de drenagem urbana para atenuação de inundações em uma sub-bacia do rio Jiquiá no Recife**. Dissertação de Mestrado. 141 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, 2010.

SOUZA, R.M., CRISPIM, D. C., FORMIGA, K. T.M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial – Caso de estudo Bacia do Córrego Samambaia. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil** (online), Vol. 5, n. 2, 2012.

TAVARES, A. C.; SILVA, A.C. F. Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. **Revista CLIMEP**, São Paulo, UNESP, Vol. 3, n.1, 2008.

TROPPMAIR, H. Ecossistemas e geossistemas do estado de São Paulo. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro. v. 13, n. 25, p. 27-36, 1983.

TUCCI, C. E.M. **Gestão de águas pluviais urbanas:** Programa de modernização do setor de saneamento. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2005.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, nº 63, 2008.

VEIGA, A. M.; CARDOSO, M. R. D.; LINO, N. C. Caracterização Hidromorfológica da Bacia do Rio Meia Ponte em Maceió – AL. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, 2011.

VIEIRA, J. **Coleta e estratégia simplificada de tratamento de água de chuva para fins não potáveis com ênfase no uso industrial**. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2007.

YASSUDA, E.A., DAVIE S.R, MENDELSOHN, D.L., ISAJI T. PENNEE, S. J. Development of a water load allocation model for the Charleston Harbor Estuary, Phase II: Water quality. **Estuarine, coastal and Shelf Science**. V. 50. p. 99-107, 2000.

YOUNG, R.A. ONSTAD, C.A., BOSCH, D. D. ANDERSON, W. P. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watershed. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 44, n. 2, p. 168-173, 1989.

ANEXO 1

Tabela 33: Valores de coeficiente de rugosidade de Manning para diversas superfícies

Superfície	n
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Concreto normal	0,013
Madeira	0,014
Tijolo com cimento	0,014
Cerâmica	0,015
Cimento com superfície de pedregulho	0,024
Solos em pousio	0,05
Solos Cultivados	
• Cobertos de resíduos <20%	0,06
• Cobertos de resíduos >20%	0,17
Campo (natural)	0,13
Grama	
• Curta, pradaria	0,15
• Densa	0,24
• Grama-bermudas	0,41
Florestas	
• Vegetação leve	0,40
• Vegetação densa	0,80

Fonte: Rossman, 2010

Tabela 34: Altura das lâminas de água para armazenamento em depressões

Superfícies impermeáveis	1,27 – 2,54 mm
Gramados	2,54 – 5,08 mm
Pastagem	5,08 mm
Serrapilheira	7,62 mm

Fonte: Rossman, 2010

ANEXO 2

Figura 19: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 1

```
[SUBCATCHMENTS]
;;                                                  Total    Pcnt.             Pcnt.    Curb     Snow
;;Name           Raingage         Outlet           Area     Imperv   Width    Slope    Length   Pack
;;-------------- ---------------- ---------------- -------- -------- -------- -------- -------- --------
SUB1             Prec.            N8               5593.307389 0.523825827 12644.77018 8.017    0
SUB2             Prec.            N13              6640.541795 1.079732609 12624.93066 5.449    0
SUB3             prec.            N20              6641.5651 25.29785637 25356.97246 5.79316282272338 0
SUB4             prec.            N24              4579.350061 11.87677407 12602.01632 5.577    0
SUB5             prec.            EXUT             3299.003096 4.687891823 11841.88973 5.7180   0

[SUBAREAS]
;;Subcatchment   N-Imperv   N-Perv     S-Imperv   S-Perv     PctZero    RouteTo    PctRouted
;;-------------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ----------
SUB1             0024       0.0635     2.54       5.142272002 25         OUTLET
SUB2             0.024      0.0877     2.54       5.237618931 25         OUTLET
SUB3             0.013      0.317529   2.54       4.461551113 25         OUTLET
SUB4             0.013      0.059882899 2.54       4.476753449 25         OUTLET
SUB5             0.024      0.074883998 2.54       4.947834744 25         OUTLET

[INFILTRATION]
;;Subcatchment   CurveNum   HydCon     DryTime
;;-------------- ---------- ---------- ----------
SUB1             78.73807072 0.5        1
SUB2             79.42471814 0.5        1
SUB3             74.82858471 0.5        1
SUB4             71.73558121 0.5        1
SUB5             71.10783927 0.5        1
```

Fonte: Autoria Própria

Figura 20: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 3

```
[SUBCATCHMENTS]
;;                                                  Total    Pcnt.             Pcnt.    Curb     Snow
;;Name           Raingage         Outlet           Area     Imperv   Width    Slope    Length   Pack
;;-------------- ---------------- ---------------- -------- -------- -------- -------- -------- --------
SUB1             Prec.            N8               5593.307389 1.821827282 12644.77018 8.017    0
SUB2             Prec.            N13              6640.541795 1.997541829 12624.93066 5.449    0
SUB3             prec.            N20              6641.5651 37.59971999 25356.97246 5.79316282272338 0
SUB4             prec.            N24              4579.350061 22.77237979 12602.01632 5.577    0
SUB5             prec.            EXUT             3299.003096 8.005791103 11841.88973 5.7180   0

[SUBAREAS]
;;Subcatchment   N-Imperv   N-Perv     S-Imperv   S-Perv     PctZero    RouteTo    PctRouted
;;-------------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ----------
SUB1             0.013      0.409024012 2.54       7.481176761 25         OUTLET
SUB2             0.013      0.423986401 2.54       7.467787313 25         OUTLET
SUB3             0.013      0.628446071 2.54       4.711729207 25         OUTLET
SUB4             0.013      0.082328327 2.54       3.982745783 25         OUTLET
SUB5             0.013      0.084239095 2.54       4.749844124 25         OUTLET

[INFILTRATION]
;;Subcatchment   CurveNum   HydCon     DryTime
;;-------------- ---------- ---------- ----------
SUB1             61.27470958 0.5        1
SUB2             70.6861838 0.5        1
SUB3             70.50073242 0.5        1
SUB4             72.45922112 0.5        1
SUB5             71.58669332 0.5        1
```

Fonte: Autoria Própria

Figura 21: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 5

```
[SUBCATCHMENTS]
;;                                                  Total    Pcnt.             Pcnt.    Curb     Snow
;;Name           Raingage         Outlet           Area     Imperv   Width    Slope    Length   Pack
;;-------------- ---------------- ---------------- -------- -------- -------- -------- -------- --------
SUB1             Prec.            N8               5593.307389 1.821827282 12644.77018 8.017    0
SUB2             Prec.            N13              6640.541795 1.997541829 12624.93066 5.449    0
SUB3             prec.            N20              6641.5651 37.59971999 25356.97246 5.79316282272338 0
SUB4             prec.            N24              4579.350061 22.77237979 12602.01632 5.577    0
SUB5             prec.            EXUT             3299.003096 8.005791103 11841.88973 5.7180   0

[SUBAREAS]
;;Subcatchment   N-Imperv   N-Perv     S-Imperv   S-Perv     PctZero    RouteTo    PctRouted
;;-------------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ----------
SUB1             0.013      0.068494849 2.54       5.043641813 25         OUTLET
SUB2             0.013      0.104352552 2.54       5.127860493 25         OUTLET
SUB3             0.013      0.503140904 2.54       4.107027148 25         OUTLET
SUB4             0.013      0.082328327 2.54       3.982745783 25         OUTLET
SUB5             0.013      0.084239095 2.54       4.749844124 25         OUTLET

[INFILTRATION]
;;Subcatchment   CurveNum   HydCon     DryTime
;;-------------- ---------- ---------- ----------
SUB1             78.8501396 0.5        1
SUB2             79.8809164 0.5        1
SUB3             72.80683302 0.5        1
SUB4             72.45922112 0.5        1
SUB5             71.58669332 0.5        1
```

Fonte: Autoria Própria

Figura 22: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 2

```
[SUBCATCHMENTS]
;;                                                  Total    Pcnt.             Pcnt.    Curb     Snow
;;Name           Raingage         Outlet           Area     Imperv   Width    Slope    Length   Pack
;;-------------- ---------------- ---------------- -------- -------- -------- -------- -------- --------
SUB1             Prec.            N7               4839.022631 1.003769734 14402.0342 7.712593079 0
SUB2             Prec.            N7               575.5457017 0        4157.911424 10.686   0
SUB3             Prec.            N11              4616.296586 0        14678.13889 6.0233   0
SUB4             Prec.            N11              1034.202212 0        6575.755873 3.70284  0
SUB5             Prec.            N14              1868.124219 0.934967673 15449.21194 3.83474  0
SUB6             Prec.            N14              1140.875912 6.8544368465 7293.532257 4.95512  0
SUB7             Prec.            N16              788.0902 29.35663061 6882.531011 5.93869  0
SUB8             Prec.            N19              1731.257367 0        8427.490366 7.75446  0
SUB9             Prec.            N19              584.7336387 0        5380.513299 9.37892  0
SUB10            Prec.            N16              209.1029842 0        2619.41991 10.2836  0
SUB11            Prec.            N20              1457.07663 55.86610209 9604.436864 5.06318  0
SUB12            Prec.            N20              3361.116901 13.14029669 15167.15332 5.71076  0
SUB13            Prec.            N23              780.4554733 9.665778099 7667.599386 4.96606  0
SUB14            Prec.            N23              1714.631673 2.130835502 8128.0317 6.79015  0
SUB15            Prec.            N26              496.6118805 0        4483.089552 4.56441  0
SUB16            Prec.            N26              1362.362296 11.4374555 7215.7167 5.10712  0
SUB17            Prec.            EXUT             218.7000345 0        2585.04565 5.71744  0
[SUBAREAS]
;;Subcatchment   N-Imperv   N-Perv     S-Imperv   S-Perv     PctZero    RouteTo    PctRouted
;;-------------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ----------
SUB1             0.024      0.065816503 2.54       5.136195617 25         OUTLET
SUB2             0.024      0.05082907 2.54       5.08       100        OUTLET
SUB3             0.024      0.06695355 2.54       5.136959941 100        OUTLET
SUB4             0.024      0.095781889 2.54       5.351157227 100        OUTLET
SUB5             0.013      0.053831031 2.54       5.045750478 100        OUTLET
SUB6             0.024      0.161795998 2.54       5.463561364 25         OUTLET
SUB7             0.013      0.792784912 2.54       5.36576297 25         OUTLET
SUB8             0.024      0.408488195 2.54       6.276167351 100        OUTLET
SUB9             0.024      0.502782819 2.54       6.599822109 100        OUTLET
SUB10            0.024      0.66115625 2.54       7.143428208 100        OUTLET
SUB11            0.013      0.191786925 2.54       2.441641575 25         OUTLET
SUB12            0.013      0.059008506 2.54       4.413231004 25         OUTLET
SUB13            0.024      0.06       2.54       4.588978473 25         OUTLET
SUB14            0.024      0.06       2.54       4.971753556 25         OUTLET
SUB15            0.024      0.139239815 2.54       5.671968032 100        OUTLET
SUB16            0.024      0.066106409 2.54       4.539378136 25         OUTLET
SUB17            0.024      0.06       2.54       5.08       100        OUTLET
[INFILTRATION]
;;Subcatchment   CurveNum   HydCon     DryTime
;;-------------- ---------- ---------- ----------
SUB1             85.72751184 0.5        1
SUB2             79.16581395 0.5        1
SUB3             90.68639678 0.5        1
SUB4             79.29572831 0.5        1
SUB5             79.38227152 0.5        1
SUB6             84.34110511 0.5        1
SUB7             75.98006173 0.5        1
SUB8             49.8655926 0.5        1
SUB9             43.87730744 0.5        1
SUB10            33.81845442 0.5        1
SUB11            71.09918724 0.5        1
SUB12            72.263883  0.5        1
SUB13            70.55013329 0.5        1
SUB14            71.68704327 0.5        1
SUB15            77.5041258 0.5        1
SUB16            69.85492354 0.5        1
SUB17            81         0.5        1
```

Fonte: Autoria Própria

Figura 23: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 4

```
[SUBCATCHMENTS]
;;                                                Total     Pcnt.              Pcnt.     Curb      Snow
;;Name            Raingage         Outlet          Area      Imperv   Width     Slope     Length    Pack
;;--------------- ---------------- --------------- --------- -------- --------- --------- --------- ---------
SUB1              Prec.            N7              4839.022631 1.076341319 14402.0342 7.712593079 0
SUB2              Prec.            N7              575.5457017 0        4157.911424 10.686   0
SUB3              Prec.            N11             4616.296586 0        14678.13889 6.0233   0
SUB4              Prec.            N11             1034.202212 0        6575.755873 3.70284  0
SUB5              Prec.            N14             1868.1238 63.22555818 15449.21223 3.83474  0
SUB6              Prec.            N14             1140.875912 14.10451376 7293.532257 4.95512  0
SUB7              Prec.            N16             788.0902 32.47961972 6882.531011 5.93869  0
SUB8              Prec.            N19             1731.257367 0        8427.490366 7.75446  0
SUB9              Prec.            N19             578.0006 0        5395.862894 9.37892  0
SUB10             Prec.            N16             209.1029842 0        2619.41991 10.2836  0
SUB11             Prec.            N20             1457.07663 56.81627052 9604.436864 5.06318  0
SUB12             Prec.            N20             3392.6137 21.84141389 15143.19089 5.71076  0
SUB13             Prec.            N23             763.5938 27.36270253 7692.451244 4.96606  0
SUB14             Prec.            N23             1699.4786 8.909026569 8152.630907 6.79015  0
SUB15             Prec.            N26             441.1897 26.17572441 4637.213393 4.56441  0
SUB16             Prec.            N26             1356.718 6.445075543 7226.089118 5.10712  0
SUB17             Prec.            EXUT            218.7000345 0        2585.04565 5.71744  0
```

```
[SUBAREAS]
;;Subcatchment   N-Imperv   N-Perv     S-Imperv   S-Perv     PctZero    RouteTo    PctRouted
;;--------------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ----------
SUB1              0.013      0.18129157 2.54       5.025311898 25         OUTLET
SUB2              0.013      0.201948917 2.54       7.49119008 100        OUTLET
SUB3              0.013      0.184839027 2.54       7.560172812 100        OUTLET
SUB4              0.013      0.210337823 2.54       7.457368141 100        OUTLET
SUB5              0.013      0.404417809 2.54       1.905739322 25         OUTLET
SUB6              0.013      0.275312285 2.54       6.215557395 25         OUTLET
SUB7              0.013      0.8        2.54       4.689326641 25         OUTLET
SUB8              0.013      0.416603458 2.54       5.955869406 100        OUTLET
SUB9              0.013      0.671393045 2.54       7.434636442 100        OUTLET
SUB10             0.013      0.8        2.54       7.226802436 100        OUTLET
SUB11             0.013      0.560834368 2.54       2.513766267 25         OUTLET
SUB12             0.013      0.086347891 2.54       4.028448439 25         OUTLET
SUB13             0.013      0.111869146 2.54       3.689974712 25         OUTLET
SUB14             0.013      0.068595314 2.54       4.62742145 25         OUTLET
SUB15             0.013      0.183534215 2.54       3.7502732  25         OUTLET
SUB16             0.013      0.076669635 2.54       4.752590162 25         OUTLET
SUB17             0.013      0.114507573 2.54       5.08       100        OUTLET
```

```
[INFILTRATION]
;;Subcatchment   CurveNum   HydCon     DryTime
;;--------------- ---------- ---------- ----------
SUB1              77.18109874 0.5        1
SUB2              66.65926337 0.5        1
SUB3              83.14132407 0.5        1
SUB4              66.83236778 0.5        1
SUB5              79.554971410353 0.5        1
SUB6              74.55859873 0.5        1
SUB7              79.72548066 0.5        1
SUB8              39.3616873 0.5        1
SUB9              32.51271608 0.5        1
SUB10             32.27570295 0.5        1
SUB11             68.91894658 0.5        1
SUB12             72.41246488 0.5        1
SUB13             67.89559462 0.5        1
SUB14             70.66364601 0.5        1
SUB15             82.0470289764244 0.5        1
SUB16             71.03323867 0.5        1
SUB17             81         0.5        1
```

Fonte: Autoria Própria

Figura 24: Dados de entrada para as sub-bacias no cenário 6

[SUBCATCHMENTS]

;;Name	Raingage	Outlet	Total Area	Pcnt. Imperv	Width	Slope	Length	Pack
SUB1	Prec.	N7	4839.022631	1.076341319	14402.0342	7.712593079	0	
SUB2	Prec.	N7	575.5457017	0	4157.911424	10.686	0	
SUB3	Prec.	N11	4616.296586	0	14678.13889	6.0233	0	
SUB4	Prec.	N11	1034.202212	0	6575.755873	3.70284	0	
SUB5	Prec.	N14	1868.1238	63.22555818	15449.21223	3.83474	0	
SUB6	Prec.	N14	1140.875912	14.10451376	7293.532257	4.95512	0	
SUB7	Prec.	N16	788.0902	32.47961972	6882.531011	5.93869	0	
SUB8	Prec.	N19	1731.257367	0	8427.490366	7.75446	0	
SUB9	Prec.	N19	578.0006	0	5395.862894	9.37892	0	
SUB10	Prec.	N16	209.1029842	0	2619.41991	10.2836	0	
SUB11	Prec.	N20	1457.07663	56.81627052	9604.436864	5.06318	0	
SUB12	Prec.	N20	3392.6137	21.84141389	15143.19089	5.71076	0	
SUB13	Prec.	N23	763.5938	27.36270253	7692.451244	4.96606	0	
SUB14	Prec.	N23	1699.4786	8.909026569	8152.630907	6.79015	0	
SUB15	Prec.	N26	441.1897	26.17572441	4637.213393	4.56441	0	
SUB16	Prec.	N26	1356.718	6.445075543	7226.089118	5.10712	0	
SUB17	Prec.	EXUT	218.7000345	0	2585.04565	5.71744	0	

[SUBAREAS]

;;Subcatchment	N-Imperv	N-Perv	S-Imperv	S-Perv	PctZero	RouteTo	PctRouted
SUB1	0.013	0.051143251	2.54	5.025311898	25	OUTLET	
SUB2	0.013	0.052089522	2.54	5.08	100	OUTLET	
SUB3	0.013	0.059560712	2.54	5.08	100	OUTLET	
SUB4	0.013	0.059365445	2.54	5.08	100	OUTLET	
SUB5	0.013	0.073330055	2.54	1.905739322	25	OUTLET	
SUB6	0.013	0.084812564	2.54	4.532406828	25	OUTLET	
SUB7	0.013	0.603362089	2.54	4.689326641	25	OUTLET	
SUB8	0.013	0.315174551	2.54	5.955869406	100	OUTLET	
SUB9	0.013	0.594934306	2.54	6.916125862	100	OUTLET	
SUB10	0.013	0.685446379	2.54	7.226802436	100	OUTLET	
SUB11	0.013	0.275909803	2.54	2.513766267	25	OUTLET	
SUB12	0.013	0.064469593	2.54	3.997733175	25	OUTLET	
SUB13	0.013	0.06	2.54	3.689974712	25	OUTLET	
SUB14	0.013	0.06	2.54	4.62742145	25	OUTLET	
SUB15	0.013	0.06	2.54	3.7502732	25	OUTLET	
SUB16	0.013	0.06	2.54	4.752590162	25	OUTLET	
SUB17	0.013	0.06	2.54	5.08	100	OUTLET	

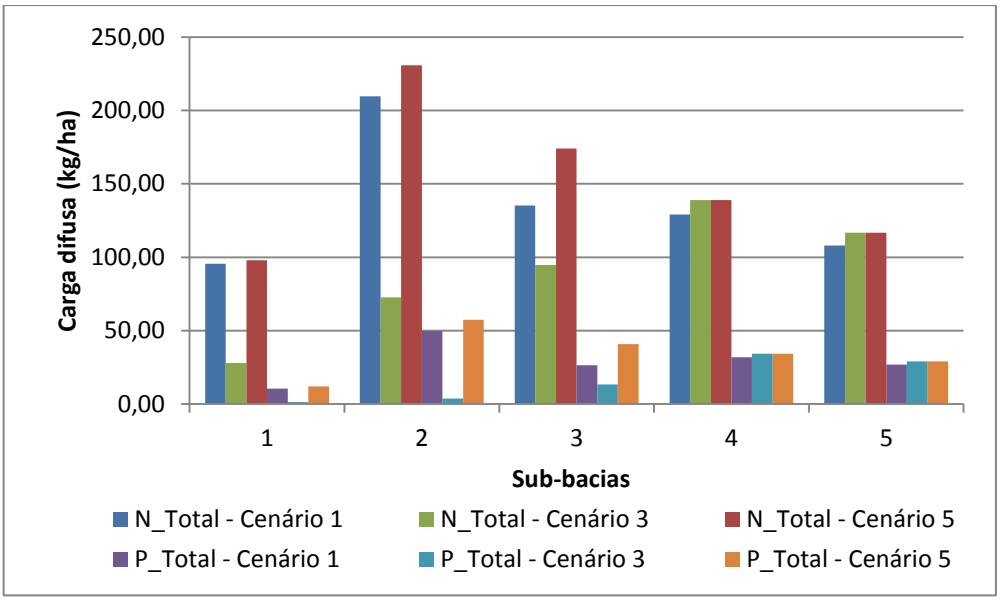
[INFILTRATION]

;;Subcatchment	CurveNum	HydCon	DryTime
SUB1	86.15083115	0.5	1
SUB2	79.41790439	0.5	1
SUB3	90.91214235	0.5	1
SUB4	80.87308907	0.5	1
SUB5	82.99614214	0.5	1
SUB6	87.29097425	0.5	1
SUB7	79.72548066	0.5	1
SUB8	55.79296768	0.5	1
SUB9	38.02444271	0.5	1
SUB10	32.27570295	0.5	1
SUB11	68.91894658	0.5	1
SUB12	72.73896571	0.5	1
SUB13	67.89559462	0.5	1
SUB14	70.66364601	0.5	1
SUB15	82.04702897	0.5	1
SUB16	71.03323867	0.5	1
SUB17	81	0.5	1

Fonte: Autoria Própria

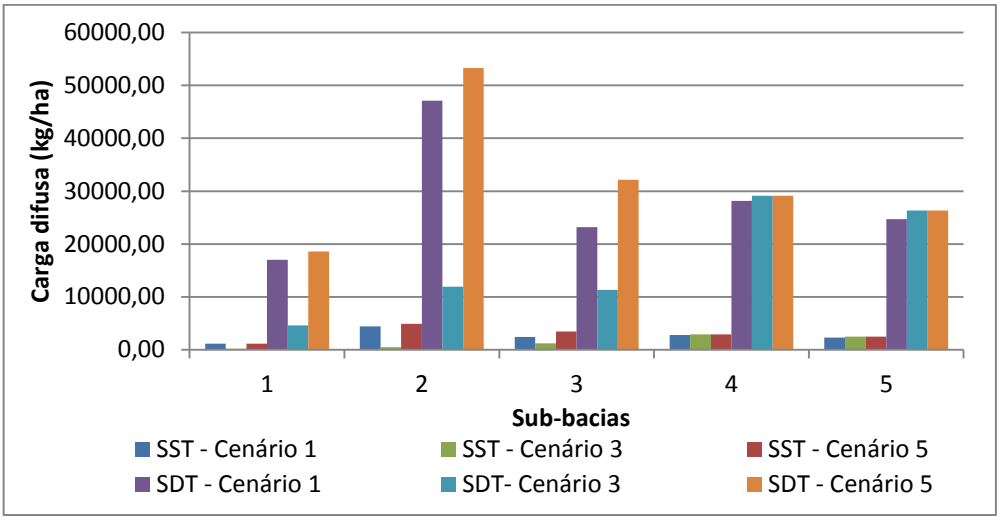
ANEXO 3

Figura 25: Comparação da geração de nutrientes (Fósforo total e nitrogênio total) por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de cinco sub-bacias.



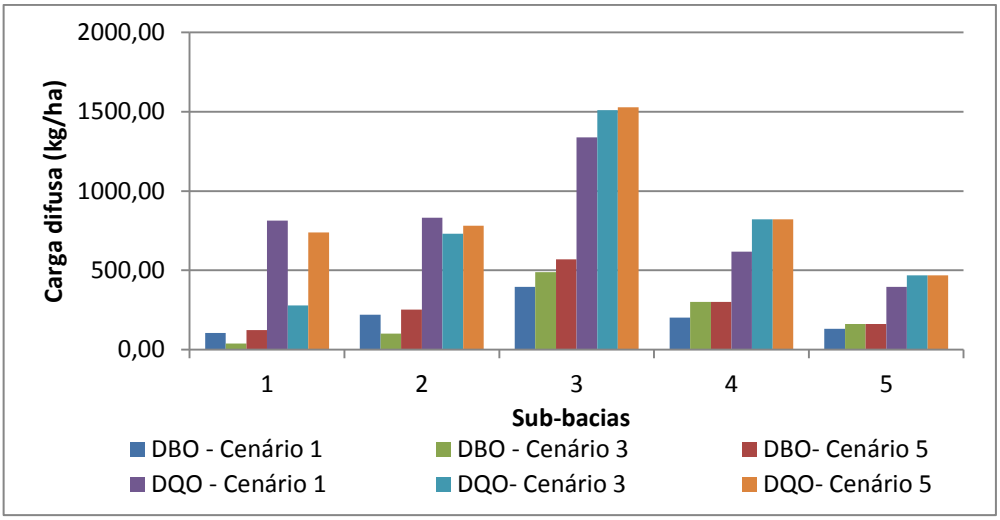
Fonte: Autoria Própria

Figura 26: Comparação da geração de sólidos (Sólido suspenso total e sólido dissolvido total) por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de cinco sub-bacias.



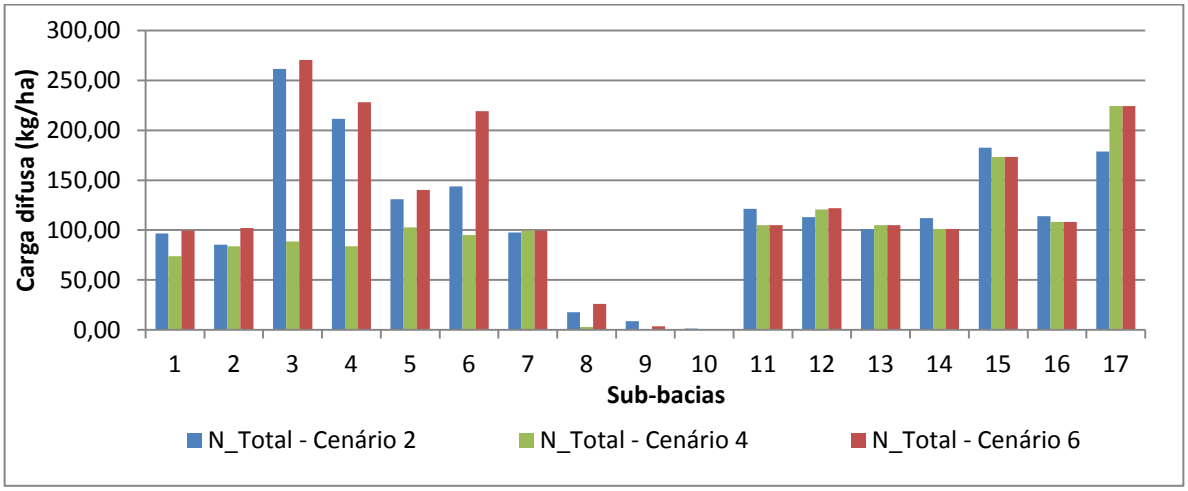
Fonte: Autoria Própria

Figura 27: Comparação da geração de DBO e DQO por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de cinco sub-bacias.



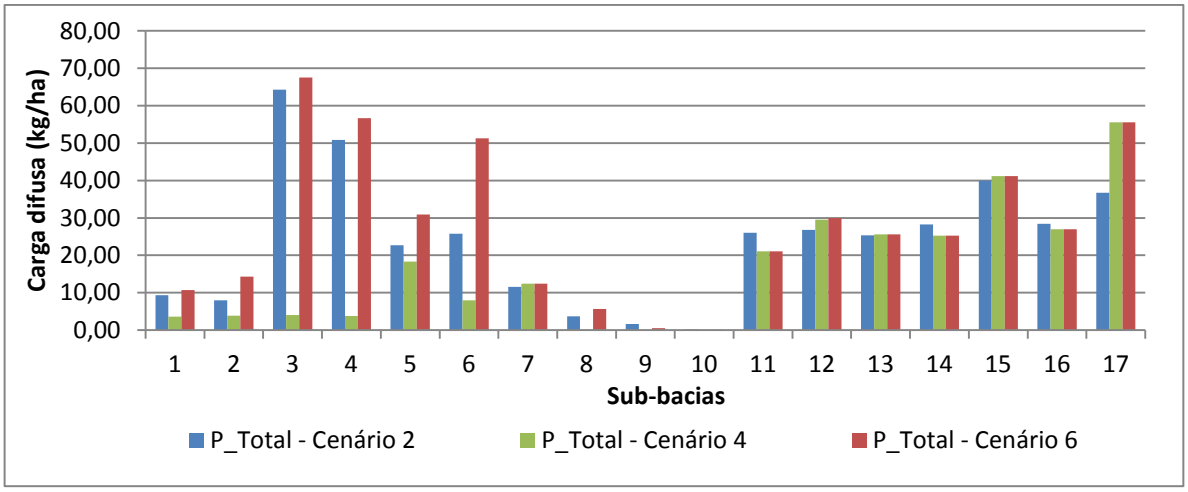
Fonte: Autoria Própria.

Figura 28: Comparação da geração de Nitrogênio total por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias.



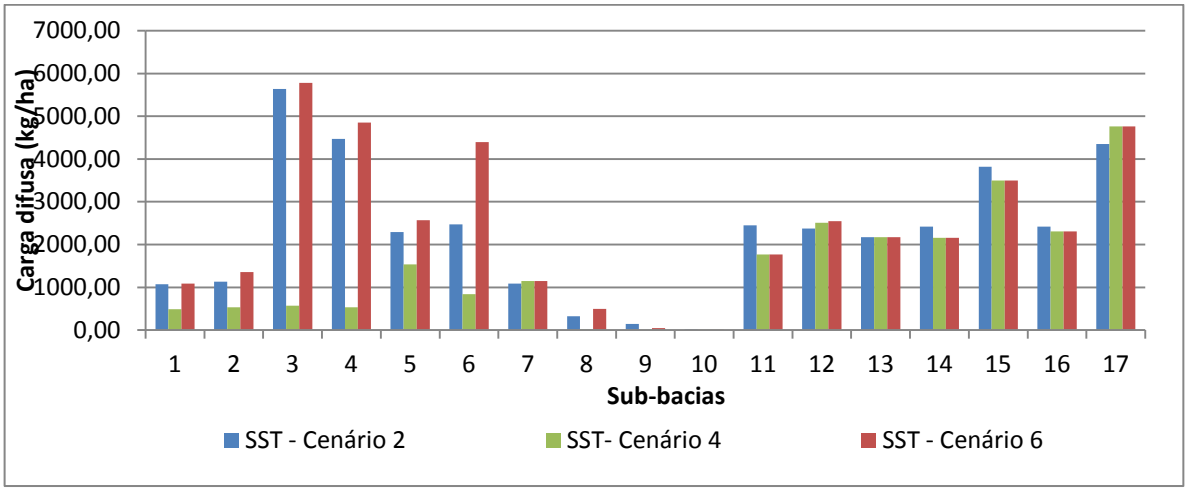
Fonte: Autoria Própria

Figura 29: Comparação da geração de Fósforo total por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias.



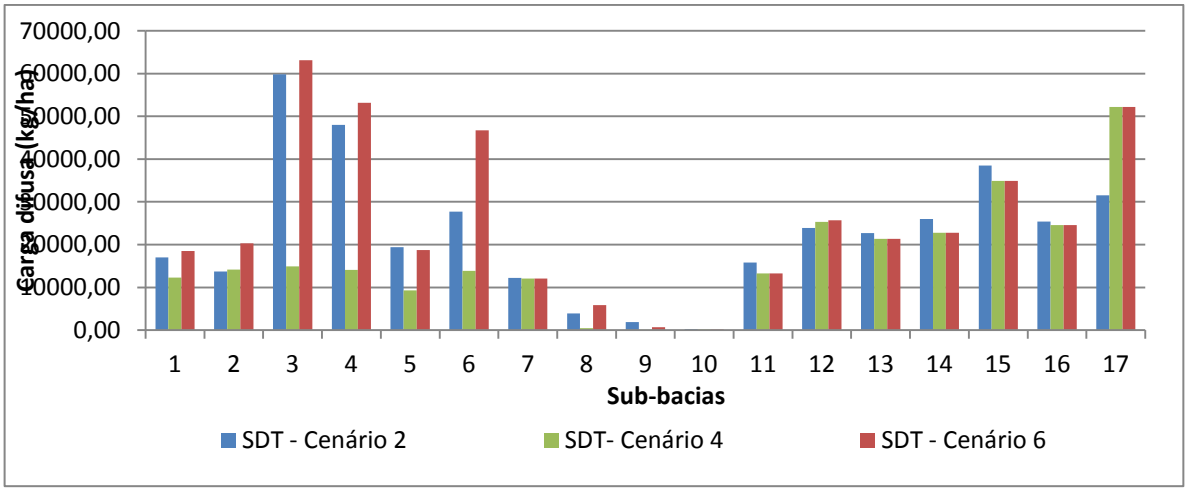
Fonte: Autoria Própria

Figura 30: Comparação da geração de sólidos suspensos totais por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias.



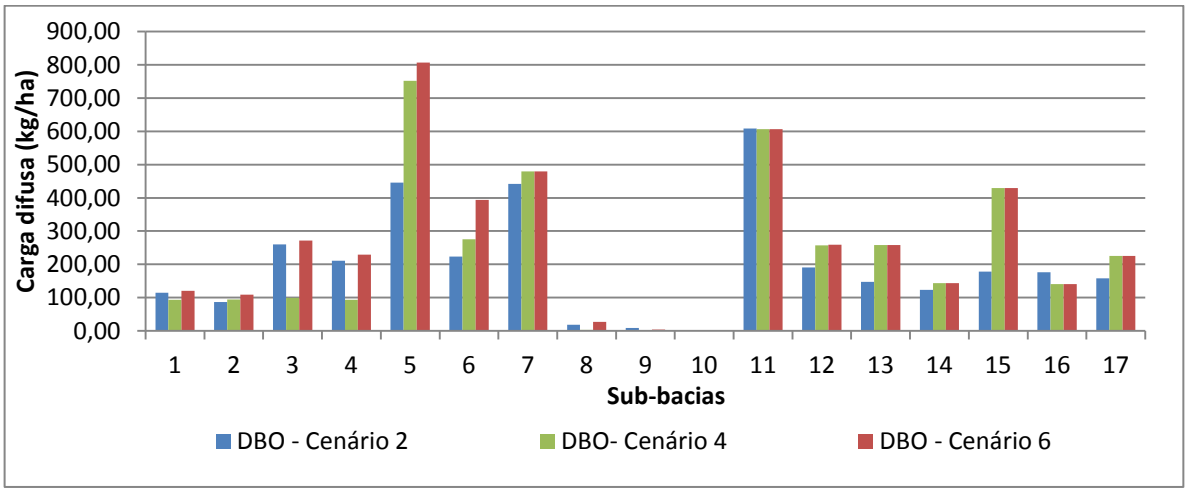
Fonte: Autoria Própria

Figura 31: Comparação da geração de sólidos dissolvidos totais por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias.



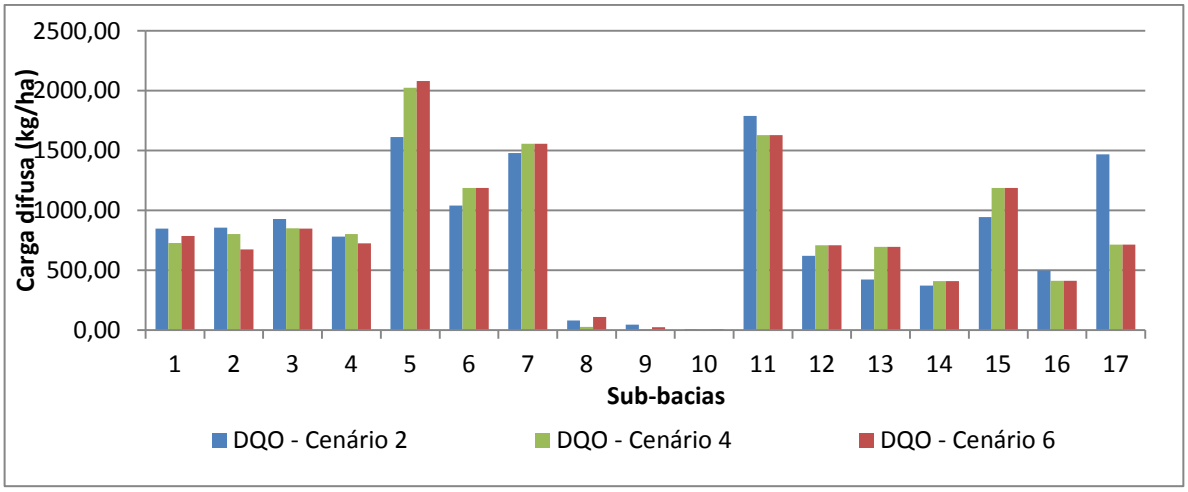
Fonte: Autoria Própria

Figura 32: Comparação da geração de DBO por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias.



Fonte: Autoria Própria

Figura 33: Comparação da geração de DQO por poluição difusa para os três cenários propostos com a discretização de dezessete sub-bacias.



Fonte: Autoria Própria