



PREFEITURA  
**FRANCA**  
TRABALHO E COMPROMISSO  
COM VOCÊ

 **PROEX**  
Pró-Reitoria de Extensão

## Relatório 3

# Programa de Gestão Integrada da Bacia do Rio Canoas em Franca - SP

**PROPOSTA DE ORDENAMENTO E  
ZONEAMENTO AMBIENTAL**



FAI  
UFSCar

## **PROJETO DE EXTENSÃO**

**FAI - UFSCar 15072**

**Secretaria de Meio Ambiente de Franca**

**Contrato nº 380/2022 (Processo nº 12.183/2022)**

## **PROGRAMA DE GESTÃO INTEGRADA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANOAS NO MUNICÍPIO DE FRANCA (SP)**

### **RELATÓRIO 3**

**Setembro – 2023**

## Equipe Técnica:

Cláudio Bielenki Júnior

<http://lattes.cnpq.br/2710470904384935>

Frederico Yuri Hanai

<http://lattes.cnpq.br/7651828454575175>

Irineu Bianchini Júnior

<http://lattes.cnpq.br/0659731944736389>

Marcela Bianchessi da Cunha Santino

<http://lattes.cnpq.br/2356641063223397>

Priscila Marcon

<http://lattes.cnpq.br/9715507409509977>

Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos

<http://lattes.cnpq.br/8205497519881678>

Silvia Cláudia Semensato Povinelli

<http://lattes.cnpq.br/3277147492023801>

Vandoir Bourscheidt

<http://lattes.cnpq.br/8224261649535795>

## Colaboradores:

Thaís Fanan Peres

<http://lattes.cnpq.br/9191062377413535>

Denise Rasera

<http://lattes.cnpq.br/0574486745919669>

## Estagiários:

Emily Santana de Araújo

## Sumário

1. Introdução .....	8
2. Complementação ao diagnóstico .....	9
2.1. Série histórica de produção de sedimentos .....	9
2.2. Modelagem das taxas de exportação de nutrientes (cargas difusas) .....	9
2.3. Taxas de impermeabilização nos núcleos urbanos .....	11
2.4. Balanço qualitativo da água .....	14
3. Ordenamento Territorial e Zoneamento Ambiental .....	19
3.1. Avaliação de Cenários.....	21
3.1.1. Impacto nas taxas de produção de sedimentos .....	25
3.1.2. Impacto nas taxas de exportação de nutrientes .....	26
3.1.3. Impactos no escoamento superficial.....	28
3.1.4. Impactos na disponibilidade hídrica.....	33
3.1.5. Entendimentos com a avaliação dos cenários.....	38
3.2. Análise Multicritério para o Zoneamento Ambiental.....	38
3.2.1. Análise Hierárquica de Processos (AHP).....	38
3.2.2. Modelo AHP adotado .....	39
3.2.2.1. Grupo de Qualidade .....	40
3.2.2.2. Grupo de Pressões.....	42
3.2.2.3. Grupo de Fragilidades.....	45
3.2.3. Pesos do modelo .....	48
3.2.4. Mapa do modelo AHP.....	49
3.3. Prognóstico sobre a ocupação urbana .....	50
3.3.1. Avaliação dos impactos dos modelos de urbanização .....	52
4. Construção da Proposta de Zoneamento Ambiental .....	55
4.1. Avaliação dos Impactos da Proposta de Zoneamento Ambiental.....	59
4.2. Proposta de Zoneamento Ambiental .....	64
5. Diretrizes para o Zoneamento Ambiental Espaço-Temporal .....	68
5.1. Diretrizes Gerais .....	68
5.2. Diretrizes Específicas .....	69
6. Proposta de índices urbanísticos.....	74
7. Considerações Finais .....	79
8. Referências .....	80

## Lista de Figuras

Figura 2.2.1 – Abordagem conceitual do modelo de taxa de entrega de nutrientes do InVEST [NDR] (Sharp <i>et al.</i> , 2018).....	10
Figura 2.2.2 – Evolução das taxas de exportação de nitrogênio e fósforo totais, estimadas com o modelo NDR/InVEST.....	11
Figura 2.3.2 – Segmentação de áreas impermeabilizadas na área urbana de Franca pelo limiar aplicado aos índices normalizados.....	12
Figura 2.3.2 – Gráfico Densidade de Domicílios x Área Impermeabilizada para a região urbana de Franca....	12
Figura 2.3.3 – Segmentação de áreas impermeabilizadas nos núcleos urbanos inseridos na AIE Canoas.....	13
Figura 2.3.4 – Gráfico Densidade de Domicílios x Área Impermeabilizada para os núcleos urbanos inseridos na AIE Canoas. ....	13
Figura 2.3.5 – Gráfico Área Condomínio x Área Impermeabilizada para os núcleos urbanos inseridos na AIE Canoas. ....	14
Figura 2.3.6 - Relação entre a densidade de domicílios e a impermeabilização dos terrenos. Na esquerda, uma comparação entre diferentes cidades e o estudo de Campana e Tucci (Pinto <i>et al.</i> , 2008). À direita, a relação para os municípios da Grande São Paulo (DAEE, 2012). ....	14
Figura 2.4.1 – Representação das principais variáveis de simulação da qualidade por microbacia (trecho j – cinza; trecho t – verde).....	15
Figura 2.4.2 – Balanço qualitativo de $DBO_{5,20}$ para vazão de referência $Q_{50}$ .....	16
Figura 2.4.3 – Balanço qualitativo de $DBO_{5,20}$ para vazão de referência $Q_{50}$ com 50% de redução das cargas difusas.....	16
Figura 2.4.4 – Balanço qualitativo de $DBO_{5,20}$ para vazão de referência $Q_{7,10}$ .....	17
Figura 2.4.5 – Balanço qualitativo de $DBO_{5,20}$ para vazão de referência $Q_{7,10}$ com 50% de redução das cargas difusas.....	17
Figura 2.4.6 – Balanço qualitativo de $DBO_5$ para vazão de referência $Q_{7,10}$ sem considerar as cargas difusas.	17
Figura 2.4.7 – Balanço qualitativo de P Total para vazão de referência $Q_{50}$ . ....	17
Figura 2.4.8 – Balanço qualitativo de P Total para vazão de referência $Q_{7,10}$ . ....	18
Figura 3.1.1 – Representação do Cenário Zero (CNO). ....	21
Figura 3.1.2 – Representação do mapeamento de usos da fase de diagnóstico (mapUsos). ....	22
Figura 3.1.3 – Representação geométrica das correções de usos. ....	22
Figura 3.1.4 – Representação dos diferentes cenários usados nas simulações (CN <sub>1-12</sub> ). ....	23
Figura 3.1.5 - Configuração espacial dos núcleos urbanos em relação à sub-bacia 24.....	24
Figura 3.1.6 – Percentuais de usos na sub-bacia 24 para cada cenário. ....	24
Figura 3.1.1.1 – Taxa de produção de sedimentos nas sub-bacias 24 e 25. ....	25
Figura 3.1.1.2 – Taxa de produção de sedimentos por sub-bacias da sub-bacia 24. ....	25
Figura 3.1.2.1 – Taxa de exportação de N Total da sub-bacia 24.....	26
Figura 3.1.2.2 – Taxa de exportação de N Total da sub-bacia 25.....	27
Figura 3.1.2.3 – Taxa de exportação de P Total da sub-bacia 24. ....	27

Figura 3.1.2.4 – Taxa de exportação de P Total da sub-bacia 25 .....	27
Figura 3.1.2.5 – Taxa de exportação de N Total por sub-bacias da sub-bacia 24 .....	28
Figura 3.1.2.6 – Taxa de exportação de P Total por sub-bacias da sub-bacia 24.....	28
Figura 3.1.3.1 – Separação do escoamento superficial direto .....	30
Figura 3.1.3.2 - Hietograma Chuva 24 horas TR 5 anos.....	31
Figura 3.1.3.3 – Esquema de bacia para simulação no HEC-HMS. ....	31
Figura 3.1.3.4 – Pico de descarga do hidrograma para os cenários MapBiomias.....	32
Figura 3.1.3.5 – Pico de descarga do hidrograma para os cenários mapUsos. ....	32
Figura 3.1.3.6 – Resultados do pico de descarga do hidrograma na junção 1.....	33
Figura 3.1.3.7 – Hidrogramas de resposta para alguns cenários. ....	33
Figura 3.1.4.1 – Representação do módulo de balanço hídrico do WARM-GIS.....	34
Figura 3.1.4. – Classificação do balanço hídrico segundo classes de estresse hídrico. ....	37
Figura 3.2.2.1 – Modelo de hierarquia adotado para subsídio ao zoneamento. ....	39
Figura 3.2.2.1.1 – Mapa do total de sedimentos, determinados com o base no modelo SDR (Nutrient Delivery Ratio) da plataforma InVEST.....	40
Figura 3.2.2.1.2 – Mapas do nitrogênio (a) e fósforo total (b), determinados com o base no modelo NDR (Nutrient Delivery Ratio) da plataforma InVEST.....	41
Figura 3.2.2.1.3 – Mapa da disponibilidade hídrica. ....	42
Figura 3.2.2.2.1 – Mapa da distância aos centros urbanos, considerada como fator de pressão sobre a bacia hidrográfica do rio Canoas. ....	43
Figura 3.2.2.2.2 – Mapa de distâncias à urbanização.....	44
Figura 3.2.2.2.3 - Distância às nascentes.....	44
Figura 3.2.2.2.4 - Distância aos pontos de captação.....	45
Figura 3.2.2.3.1 – Mapa da variável Solos (em função da erodibilidade). ....	46
Figura 3.2.3.3.2 – Mapa da variável Geologia. ....	46
Figura 3.2.2.3.3 – Mapa da variável Formas de Relevo.....	47
Figura 3.2.2.3.4 – Mapa da variável Declividade.....	47
Figura 3.2.3.1 – Pesos para os grupos no modelo AHP.....	48
Figura 3.2.3.2 – Pesos para as variáveis dos grupos Qualidade, Pressões e Fragilidades.....	48
Figura 3.2.3.3 – Pesos do modelo AHP.....	49
Figura 3.2.4.1 – Mapa de Índice de Suscetibilidade. ....	50
Figura 3.2.4.2 – Mapa Índice de Suscetibilidade classificado.....	50
Figura 3.3.1 – Comparativo do crescimento da urbanização na área de contribuição da captação da SABESP no Rio Canoas e na área de expansão urbana prevista no plano diretor e taxa média de urbanização entre as áreas. ....	51
Figura 3.3.2 – Resultado do modelo de expansão. ....	52
Figura 3.3.1.1 – Comparações das taxas de produção e exportação de sedimentos nas sub-bacias 24 e 25 ..	53

Figura 3.3.1.2 – Comparações das taxas de produção e exportação de sedimentos nos subgrupos de bacias da sub-bacia 24.....	53
Figura 3.3.1.3– Comparações das taxas de exportação de nutrientes nas sub-bacias 24 e 25. ....	53
Figura 3.3.1.4– Comparações das taxas de exportação de nutrientes nos subgrupos de bacias da sub-bacia 24. ....	53
Figura 4.1 – Macrodivisão inicial para o zoneamento ambiental.....	56
Figura 4.2 – Etapa de sobreposição de camadas.....	57
Figura 4.3 – Áreas AOD de Adensamento Urbano Sustentável Fases 1 e 2.....	58
Figura 4.4 – Áreas AOD de Baixa Densidade Níveis 1, 2 e 3.....	59
Figura 4.1.1 - Alternativas de alteração do padrão de usos segundo a proposta de zoneamento.....	59
Figura 4.1.2 – Percentual de área impermeabilizada de cada alternativa.....	60
Figura 4.1.3 – Diferenças em percentual de área impermeabilizada de cada alternativa em relação a situação atual.....	60
Figura 4.1.4 – Impacto nas taxas de produção de sedimentos nas sub-bacias 24 e 25 .....	60
Figura 4.1.5 – Impacto nas taxas de exportação de sedimentos nas sub-bacias 24 e 25 .....	61
Figura 4.1.6 – Impacto nas taxas de produção de sedimentos nas sub-bacias da sub-bacia 24 .....	61
Figura 4.1.7 – Impacto nas taxas de exportação de sedimentos nas sub-bacias da sub-bacia 24.....	61
Figura 4.1.8 – Impacto nas taxas de exportação de N Total nas sub-bacias 24 e 25 .....	62
Figura 4.1.9 – Impacto nas taxas de exportação de N Total nas sub-bacias da sub-bacia 24.....	62
Figura 4.1.10 – Impacto nas taxas de exportação de P Total nas sub-bacias 24 e 25.....	62
Figura 4.1.11 – Impacto nas taxas de exportação de P Total nas sub-bacias da sub-bacia 24 .....	63
Figura 4.1.12 – Impacto nos picos de descarga do hidrograma nas sub-bacias 24 e 25.....	63
Figura 4.2.1 – Proposta de Zoneamento Ambiental Áreas de Intervenção. ....	67
Figura 4.2.2 - Proposta de Zoneamento Ambiental Áreas de Intervenção Subclasses. ....	67

## **Lista de Tabelas**

Tabela 3.2.1.1 - Escala de comparações da AHP, utilizada no julgamento da importância relativa de elementos na análise pareada, conforme proposto por Saaty (1991).....	39
Tabela 3.2.3.1 – Pesos das variáveis no modelo AHP.....	49
Tabela 4.2.1 – Áreas de Intervenções para o Zoneamento Ambiental da AIE Canoas .....	64
Tabela 5.2 – Diretrizes específicas por classes de zoneamento.....	69
Tabela 6.1 - Quadro de Índices Urbanísticos – parte 1: .....	74
Tabela 6.2: Quadro de Índices Urbanísticos – parte 2: .....	76

## PROPOSTA DE ORDENAMENTO E ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CANOAS NO MUNICÍPIO DE FRANCA (SP)

### 1. Introdução

O presente relatório técnico refere-se a fase de proposição de ordenamento e zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Canoas no município de Franca, bem como da sugestão de diretrizes de planejamento para a orientação do ordenamento, qualificação e regularização urbana, o controle do uso do solo e o regramento de atividades econômicas e a preservação e recuperação das áreas vegetadas da bacia. Este é o terceiro relatório de um total de quatro, previstos como produtos do projeto de extensão firmado entre o município de Franca e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), por meio da Fundação de Apoio Institucional ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FAI - UFSCar), denominado “Programa de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas no Município de Franca (SP)”.

Subsidiam essa proposta a Lei nº 9.866/1997, que define o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA) como instrumento de gestão e planejamento para as Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRMs). Além disso, também são usados aspectos relevantes do Decreto nº 4.297/2002, que regulamenta o instrumento do Zoneamento Ambiental, no âmbito mais amplo do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE).

Tendo como referência o diagnóstico da bacia apresentado e disponibilizado no relatório 2, foram realizadas simulações de cenários de alteração de usos dentro da bacia e os eventuais impactos nas suas características físicas de modo a avaliar a resiliência ecossistêmica. Com base nos resultados dessas simulações e por meio de uma avaliação multicritério, propõe-se um zoneamento ambiental com as respectivas sugestões de diretrizes de planejamento para o ordenamento territorial.

O presente relatório é dividido em três sessões. A primeira apresenta elementos adicionais ao diagnóstico, englobando a produção de sedimentos, exportação de nutrientes, áreas impermeabilizadas e o balanço qualitativo da água. A segunda sessão aborda os parâmetros que servem de base para o zoneamento, principalmente em termos da análise multicritério. Por fim, a terceira sessão foca nos resultados do zoneamento proposto, assim como na definição das diretrizes e índices urbanísticos para cada uma das zonas propostas.

## 2. Complementação ao diagnóstico

### 2.1. Série histórica de produção de sedimentos

Buscando garantir maior subsídio para a elaboração do zoneamento, e em complementação à fase de diagnóstico, resolveu-se aplicar a modelagem de sedimentos (já exibida em forma de mapa no relatório anterior) para toda a série histórica de 1985 a 2021 dos dados de uso e ocupação da série MapBiomass coleção 7, a fim de averiguar o comportamento da resposta da bacia quanto à produção de sedimentos ao longo desse período.

Na Figura 2.1.1 apresentam-se os resultados da modelagem para as sub-bacias 24 (sub-bacia do Ribeirão do Lajeado/Onça) e 25 (sub-bacia do Pouso Alegre). Verifica-se que as taxas passaram a diminuir a partir dos anos 2000, em conformidade com a recuperação da vegetação na bacia, já apresentada no relatório 2. Entretanto, vale ressaltar que, nos últimos anos, já se percebe uma estabilização, ou mesmo a inversão deste comportamento.

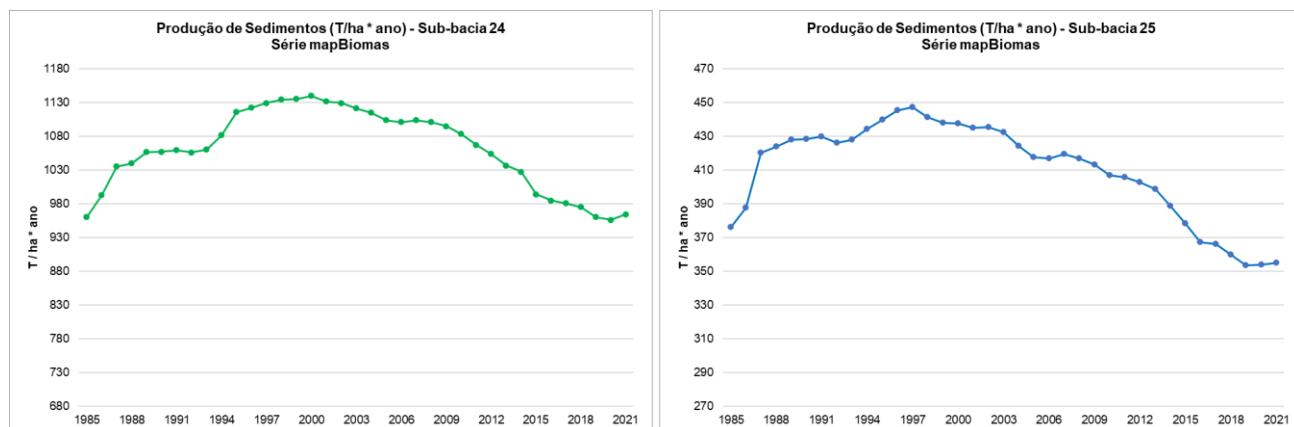


Figura 2.1.1 – Taxa de produção de sedimentos ao longo da série histórica do mapBiomass para as sub-bacias 24 (sub-bacia do Ribeirão do Lajeado/Onça) e 25 (sub-bacia do Pouso Alegre).

### 2.2. Modelagem das taxas de exportação de nutrientes (cargas difusas)

De forma análoga à modelagem de sedimentos, optou-se por avaliar também as taxas de exportação de nutrientes (nitrogênio e fósforo totais). Para isso, foi utilizado o modelo de taxa de entrega de nutrientes *Nutrient Delivery Ratio* (NDR) da plataforma InVEST, já utilizada para a modelagem de sedimentos com o modelo *Sediment Delivery Ratio* (SDR).

O modelo NDR foi desenvolvido para mapear fontes de nitrogênio e fósforo na paisagem e seu transporte até os cursos d'água, sendo utilizado para avaliar os serviços de retenção de nutrientes pela vegetação natural e avaliar problemas relacionados à qualidade da água. O modelo utiliza uma abordagem de balanço de massas para descrever o movimento dos nutrientes na superfície e subsuperfície do solo, sendo possível avaliá-los separadamente. Deste modo, a exportação de nutrientes em cada pixel é calculada como o produto da carga de nutrientes no solo ( $load_i$ ) e a taxa de entrega de nutrientes ( $NDR_i$ ), conforme exemplificado na Figura 2.2.1.

A carga de nutrientes aportados para cada tipo de uso e cobertura do solo leva em consideração o potencial de escoamento local, pois este afeta a contribuição de aporte para cada pixel, modificando a carga inicial (Heathwaite *et al.*, 2005). Desta forma, a carga de nutrientes no solo é dada por:

$$\text{modified.load}_i = \text{load}_i * \text{RPI}_i \text{ (equação 2.2.1)}$$

onde:

$\text{RPI}_i$  = índice potencial de escoamento do nutriente em cada pixel;  
 $\text{Load}_i$  = nutriente aportado ao solo.

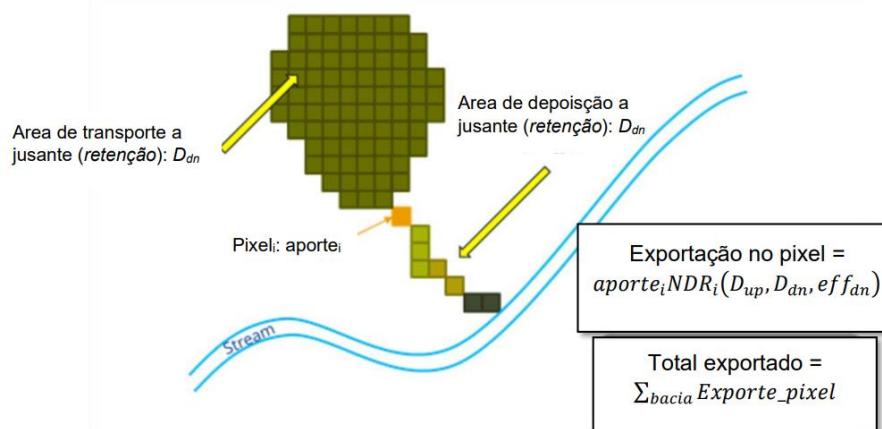


Figura 2.2.1 – Abordagem conceitual do modelo de taxa de entrega de nutrientes do InVEST [NDR] (Sharp *et al.*, 2018).

A quantificação da taxa de exportação de nutrientes segue abordagem similar ao modelo de transporte de sedimentos (Vigiak *et al.*, 2012), calculando a quantidade de nutrientes exportados em proporção à quantidade de nutrientes, aportada no solo, que realmente chega ao curso d'água. A taxa de entrega de nutrientes (NDR<sub>i</sub>) é calculada pela equação:

$$NDR_i = NDR_{0,i} (1 + \exp ( (IC_i - IC_0) / k ))^{-1} \text{ (equação 2.2.2)}$$

onde:

$IC_0$  e  $K$  = Parâmetros de calibração;

$IC_i$  = Índice de conectividade;

$NDR_{0,i}$  = Proporção do nutriente que não é retido a jusante do pixel de interesse, sendo baseado na máxima eficiência de retenção do solo entre o pixel e o curso d'água.

As taxas de carregamento (coeficientes de exportação) das cargas de nutrientes para cada tipo de uso (em kg/ha.ano) utilizadas foram baseadas nos coeficientes utilizados no modelo MQUAL e determinados pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (São Paulo, 2003). O potencial de escoamento utilizado foi um mapa de precipitação anual média conforme o indicado no manual de utilização do modelo e calculado com base nos dados de precipitação do banco de dados da ANA.

Na Figura 2.2.2 apresentam-se os resultados da modelagem para as sub-bacias 24 e 25. Essas variáveis estão mais diretamente relacionadas com as atividades agropastoris da bacia. O comportamento da variável Nitrogênio ficou mais próximo aos comportamentos das taxas de produção de sedimentos, já a variável fósforo vem apresentando um crescimento ao longo dos anos, o que pode estar relacionado com o aumento de atividades agrícolas que demandem maior aporte de fertilizantes.

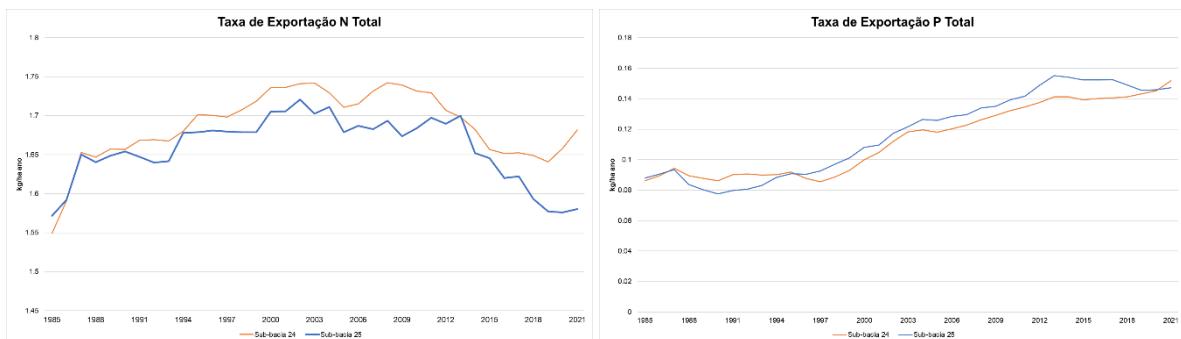


Figura 2.2.2 – Evolução das taxas de exportação de nitrogênio e fósforo totais, estimadas com o modelo NDR/InVEST.

### 2.3. Taxas de impermeabilização nos núcleos urbanos

Em outra análise, complementando o diagnóstico no que diz respeito ao uso e ocupação do solo, mais especificamente ao padrão de ocupação urbana na AIE Canoas, foram criados filtros para determinar as taxas de impermeabilização nos núcleos urbanos presentes na área de estudo. Esses filtros se basearam em índices normalizados, aplicados às imagens de satélite CBERS 4A e Landsat 8, e na segmentação através de um limiar aplicados sobre os índices, permitindo separar as áreas impermeabilizadas das áreas vegetadas.

Para a aplicação destes filtros foram calculados dois índices normalizados, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*). O NDBI tem sido apresentado na literatura como um método eficiente para acompanhar o processo de crescimento urbano nas cidades. Trata-se de uma razão entre bandas utilizando as bandas espectrais do infravermelho próximo e infravermelho médio. Já o NDVI permite uma melhor identificação das áreas vegetadas e é uma razão entre as bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo.

Inicialmente, a metodologia foi aplicada sobre toda a área urbana do município de Franca e confrontada, em seguida, com os dados cadastrais do censo demográfico de 2010, buscando estabelecer um padrão (por setor censitário). O resultado pode ser visualizado nas Figuras 2.3.1 e 2.3.2, que mostram, respectivamente, o mapa com o limiar entre áreas impermeabilizadas (em marrom) e vegetadas (em verde), e o gráfico resultante da comparação entre a área impermeabilizada e a densidade de domicílios. Os resultados indicam a relação entre a impermeabilização obtida através dos índices e os dados demográficos.

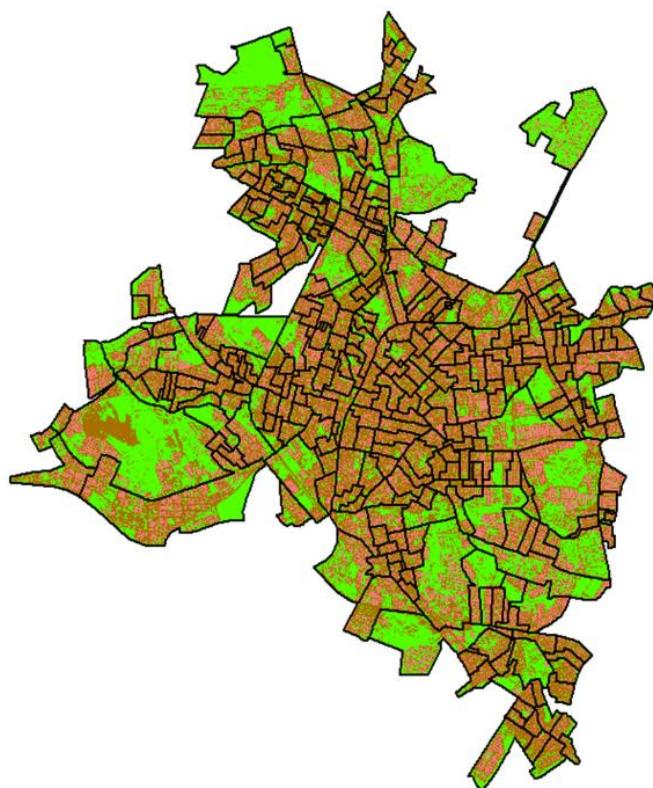


Figura 2.3.2 – Segmentação de áreas impermeabilizadas na área urbana de Franca pelo limiar aplicado aos índices normalizados.

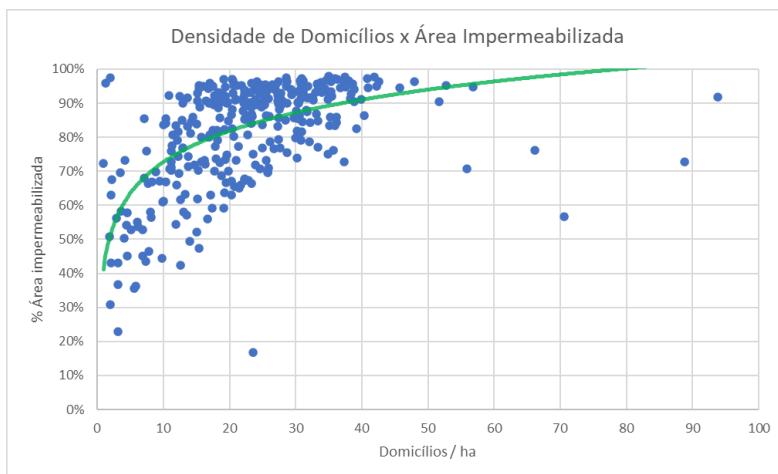


Figura 2.3.2 – Gráfico Densidade de Domicílios x Área Impermeabilizada para a região urbana de Franca.

Com base nesses resultados, os mesmos filtros foram aplicados para segmentar as áreas (não) impermeabilizadas dos núcleos urbanos inseridos na AIE Canoas. Entretanto, devido à falta de dados censitários do número de domicílios para estes núcleos individuais, optou-se pela contagem de infraestruturas que configurassem residências diretamente sobre as imagens, usando-se essa contagem para determinar a relação entre a densidade de domicílios e as áreas impermeabilizadas. Também procurou-se estabelecer uma relação

entre o tamanho dos núcleos urbanos e a área impermeabilizada. O resultado dessa análise pode ser visualizado nas Figuras 2.3.3, 2.3.4 e 2.3.5.

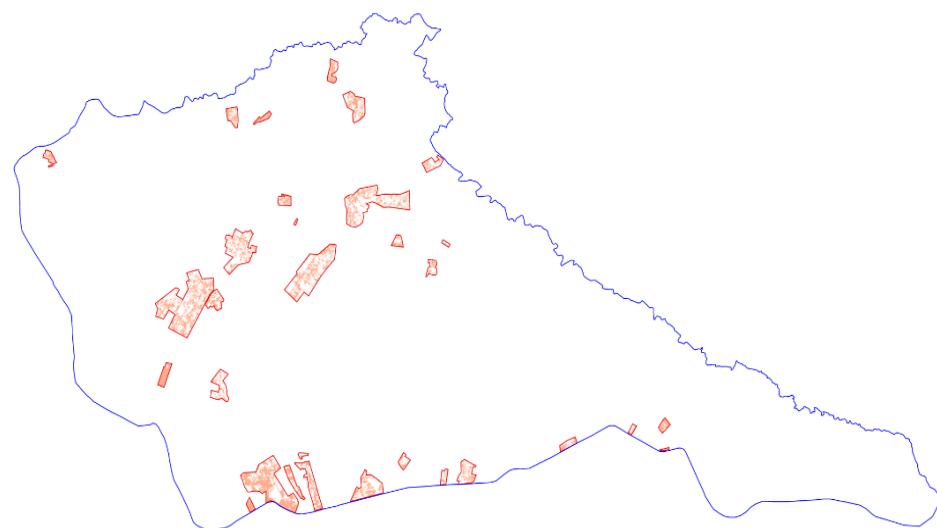


Figura 2.3.3 – Segmentação de áreas impermeabilizadas nos núcleos urbanos inseridos na AIE Canoas.

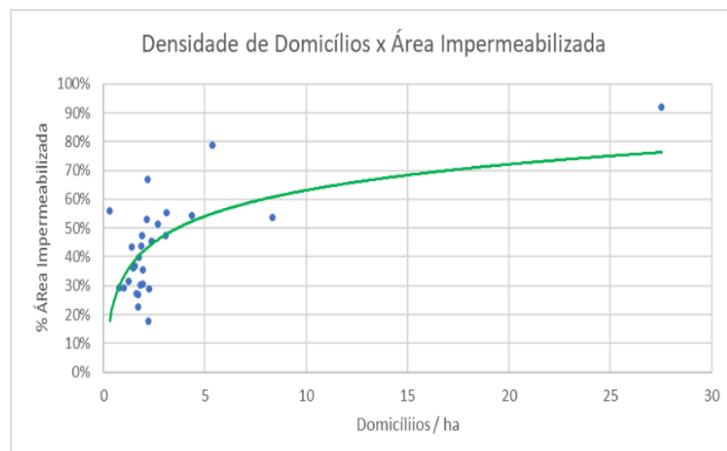


Figura 2.3.4 – Gráfico Densidade de Domicílios x Área Impermeabilizada para os núcleos urbanos inseridos na AIE Canoas.

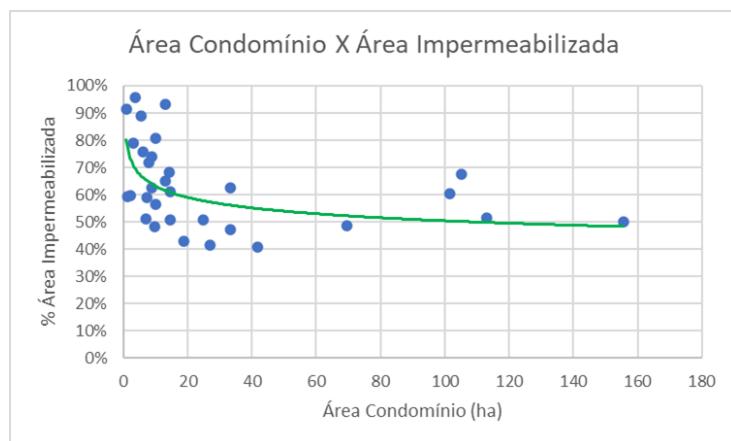


Figura 2.3.5 – Gráfico Área Condomínio x Área Impermeabilizada para os núcleos urbanos inseridos na AIE Canoas.

De forma geral, a maior parte destes núcleos atende aos padrões estabelecidos na atual legislação que instituiu a AIE Canoas. Além disso, o padrão de ocupação e as relações identificadas são compatíveis ao já descrito na literatura, conforme mostra a Figura 2.3.6.

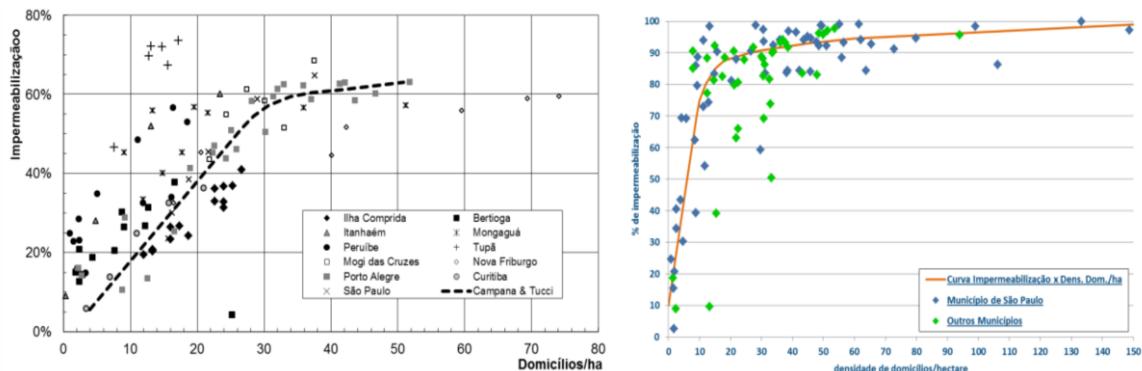


Figura 2.3.6 - Relação entre a densidade de domicílios e a impermeabilização dos terrenos. Na esquerda, uma comparação entre diferentes cidades e o estudo de Campana e Tucci (Pinto et al., 2008). À direita, a relação para os municípios da Grande São Paulo (DAEE, 2012).

## 2.4. Balanço qualitativo da água

O balanço hídrico qualitativo foi realizado utilizando-se o *plug in* integrado a um SIG desenvolvido pelo IPH UFRGS e denominado WARM-GIS. O processo de modelagem qualitativa adotado pelo WARM-GIS Tools envolve a inserção de lançamentos de efluentes de forma contínua no sistema hídrico, podendo ser incluídas também as abstrações de água, adotando-se um conjunto de soluções analíticas em regime permanente, através de modelos de transporte advectivo com reações cinéticas simplificadas. As equações utilizadas são apresentadas em Sperling (2007), todas em sua forma analítica de resolução.

Os lançamentos de efluentes correspondem às cargas pontuais e difusas. As cargas pontuais são representadas por lançamentos diretos e contínuos, normalmente representadas por fontes oriundas do esgotamento urbano. As cargas difusas são caracterizadas em função do uso do solo, sendo possível, neste caso, inserir bases com a identificação de cada uso, juntamente com os respectivos valores característicos de carga específica gerada (kg/dia\*ha).

Na Figura 2.4.1 são apresentadas as principais variáveis no processo de diluição e transformação dos constituintes de qualidade.

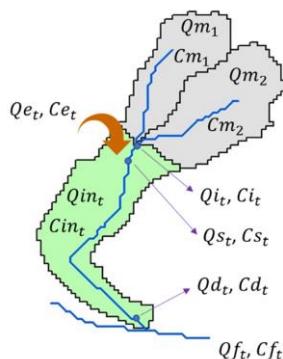


Figura 2.4.1 – Representação das principais variáveis de simulação da qualidade por microbacia (trecho j – cinza; trecho t – verde).

Entre as variáveis representadas, tem-se:

$Qm_j$  e  $Cm_{j,p}$  : vazão e concentração final dos trechos j à montante do trecho t;

$Qi_t$  e  $Ci_{t,p}$  : vazão e concentração inicial do trecho t;

$Qe_t$  e  $Ce_{t,p}$  : vazão e concentração (ou somatório) das cargas pontuais existentes em qualquer ponto da microbacia correspondente ao trecho t;

$Qs_t$  e  $CS_{t,p}$  : vazão e concentração de mistura após a entrada das cargas pontuais no trecho t;

$Qin_t$  e  $Cin_{t,p}$  : vazão e concentração após os processos de transformação dos constituintes ao longo do trecho t;

$Qd_t$  e  $Cd_{t,p}$  : vazão e concentração incremental do trecho t, correspondendo à entrada das cargas difusas;

$Qf_t$  e  $Cf_{t,p}$  : vazão e concentração final do trecho t, após a inserção da vazão e concentração incremental.

Uma descrição de cada etapa do processo de diluição e transformação dos constituintes considerados no modelo proposto no *plug in* WARM GIS pode ser consultada em Kayser & Collischonn (2017) e Kayser & Collischonn (2019). As cargas pontuais correspondem aos

lançamentos de efluentes das ETEs presentes na área da bacia, conforme as tabelas apresentadas no relatório 2. Já as cargas difusas, correspondentes à variável de fósforo total (P Total), utilizadas no balanço, referem-se as cargas exportadas em cada pixel no modelo InVEST NDR e contabilizadas por sub-bacias. As cargas de  $DBO_{5,20}$  foram calculadas por sub-bacia segundo as taxas de carregamento por tipo de uso do solo, de acordo com o preconizado para a utilização do MQUAL (SMA, 2003).

Foram realizados os balanços qualitativos para as vazões de referência  $Q_{50}$  e  $Q_{7,10}$ . Nos períodos de falta de chuva, as cargas difusas tendem a não ser carreadas para os corpos d'água, e desta forma também foram simulados balanços qualitativos com aplicação de reduções das cargas difusas de  $DBO_{5,20}$ . Para o P Total, o modelo NDR InVEST já considera a variável hidrológica nas simulações.

As Figuras 2.4.2 a 2.4.8 apresentam os resultados dos balanços qualitativos de  $DBO_{5,20}$  e P Total. É possível observar, para as diferentes condições de vazão, concentrações maiores  $DBO_{5,20}$  e P Total nas sub-bacias urbanizadas, onde também se encontram as ETEs. Os impactos podem ser considerados pequenos para a  $Q_{50}$ , mas observa-se um aumento das cargas para vazões mínimas ( $Q_{7,10}$ ). A simulação com remoção de cargas difusas indica uma melhora significativa da  $DBO_{5,20}$ .

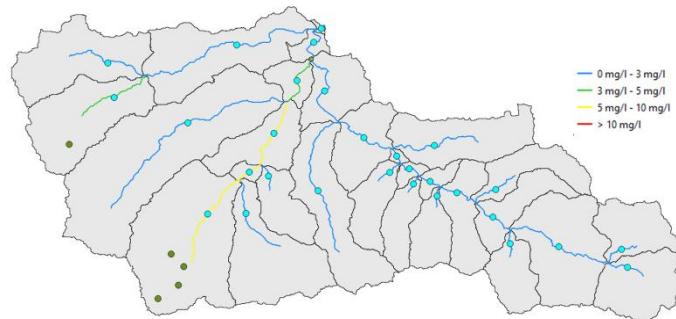


Figura 2.4.2 – Balanço qualitativo de  $DBO_{5,20}$  para vazão de referência  $Q_{50}$ .

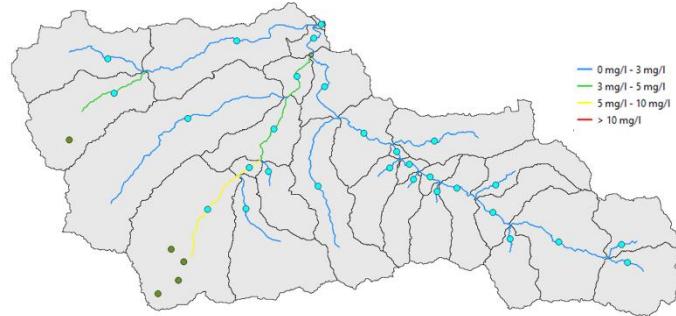


Figura 2.4.3 – Balanço qualitativo de  $DBO_{5,20}$  para vazão de referência  $Q_{50}$  com 50% de redução das cargas difusas.

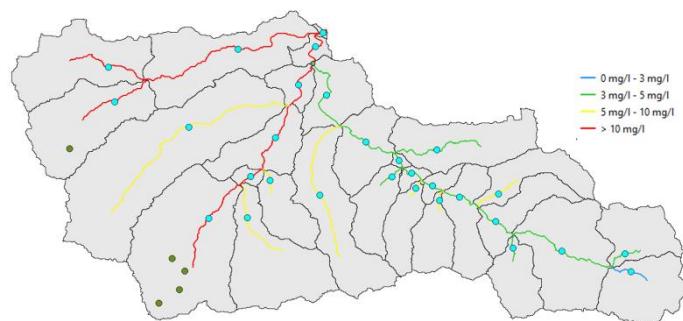


Figura 2.4.4 – Balanço qualitativo de  $\text{DBO}_{5,20}$  para vazão de referência  $Q_{7,10}$ .

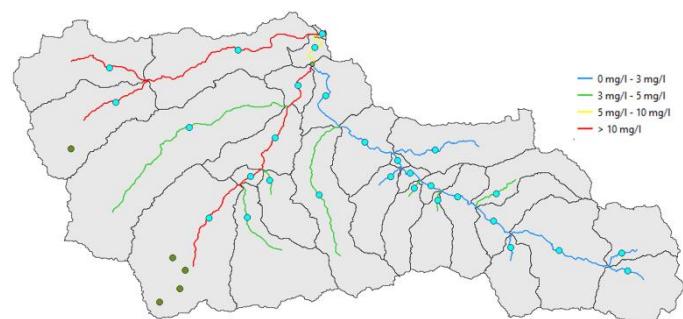


Figura 2.4.5 – Balanço qualitativo de  $\text{DBO}_{5,20}$  para vazão de referência  $Q_{7,10}$  com 50% de redução das cargas difusas.

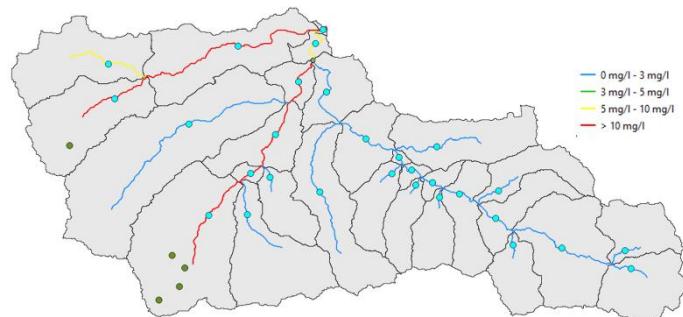


Figura 2.4.6 – Balanço qualitativo de  $\text{DBO}_5$  para vazão de referência  $Q_{7,10}$  sem considerar as cargas difusas.

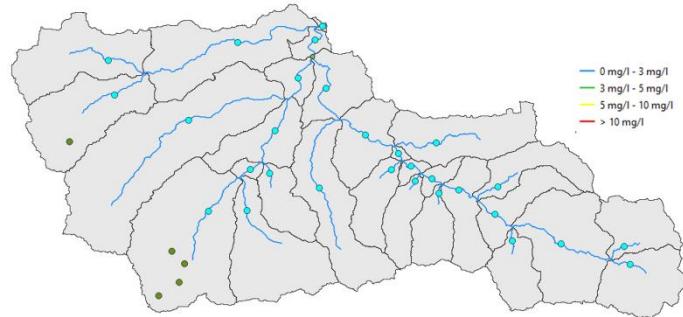


Figura 2.4.7 – Balanço qualitativo de P Total para vazão de referência  $Q_{50}$ .

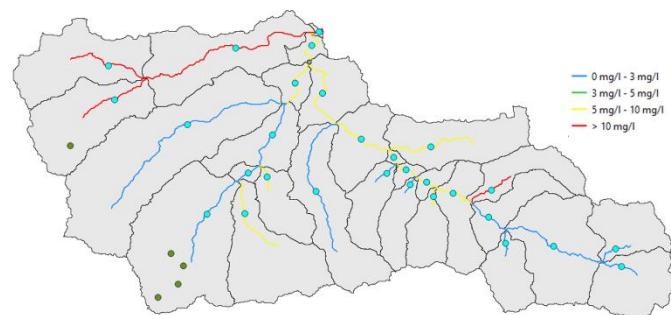


Figura 2.4.8 – Balanço qualitativo de P Total para vazão de referência  $Q_{7,10}$ .

### 3. Ordenamento Territorial e Zoneamento Ambiental

A expansão urbana deve ser regida pelo controle urbanístico e ambiental do parcelamento, uso e ocupação do solo, promovendo formas de regulação em prol do desenvolvimento territorial sustentável. As questões relativas à taxa de permeabilidade das cidades passaram a ser mais amplamente discutidas a partir da regulamentação da Constituição Federal de 1988 (CF88), que ampliou o enfoque da questão urbana enquanto questão social e a articulou à questão ambiental. Definiram-se então, nesta oportunidade, as competências de cada ente da federação, como detalhado no Relatório 2.

No que se refere à questão urbano-ambiental, o Art. 21 da CF88 define as competências privativas da União. O Art. 23 disciplina as competências comuns, em relação ao meio ambiente, aos entes da federação. Já o Art. 24 disciplina as competências concorrentes, que são aquelas em que a União, os Estados e o Distrito Federal podem legislar sobre o mesmo assunto. No caso ambiental tem-se que:

(...)

VI – florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição;

VII – proteção ao patrimônio histórico, cultural, artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (BRASIL, 1988).

No que tange a sua competência normativa, em matéria urbano-ambiental, a CF88, em seu Art. 30, prevê que os municípios devem:

(...)

I – legislar sobre assuntos de interesse local;

II – suplementar a legislação federal e a estadual no que couber;

(...)

VIII – promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano;

IX – promover a proteção do patrimônio histórico-cultural local, observada a legislação e a ação fiscalizadora federal e estadual (BRASIL, 1988).

O Inciso I diz que o Município poderá legislar em assuntos de interesse local. Portanto, há aí uma limitação, pois não poderá o Município legislar sobre qualquer tema, mas, tão somente, aqueles em que predomine o interesse local. Já o inciso II expõe que compete ao Município suplementar a legislação federal e estadual no que couber. Tornando assim, perfeitamente possível a edição de lei municipal restringindo matérias tratadas pela União ou pelo Estado. O Município poderá então adequar a legislação existente à sua situação local específica.

Anteriormente à CF88, a Lei Federal nº 6.766 de dezembro de 1979 (alterada pela Lei Federal nº 9.785/1999; Lei Federal 10.932/2004; Lei Federal 13.465/2017, entre outras) estabeleceu diretrizes de parcelamento do solo urbano, trazendo um conjunto de normas federais para expansão urbana. Ainda, garantiu a autonomia do município ao estabelecer no § 1º, 'Art. 4º que *"ao município caberia definir os parâmetros, para cada zona, dos usos e índices urbanísticos de parcelamento e ocupação do solo, além das áreas mínimas e máximas de lotes e coeficientes máximos de aproveitamento"*'.

Marco legal para a política urbana, o Estatuto da Cidade, aprovado pela Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, regulamenta os Arts. 182 e 183 da CF88, estabelecendo assim as diretrizes gerais para a política urbana nacional. Instituiu-se, então, o plano diretor como instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, integrando a gestão dos recursos hídricos como condição necessária ao desenvolvimento sustentável. O Estatuto da Cidade explicitou o conceito de sustentabilidade urbana associada ao sentido d justiça ambiental e social e da "garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações", complementado ainda pela preocupação em "evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente".

Quanto à expansão do tecido urbano, o Estatuto prevê, em seu Art. 42-B, que os Municípios que desejam ampliar seu perímetro urbano elaborem projeto específico para esta finalidade que contenha, no mínimo:

- I - demarcação do novo perímetro urbano;
- II - delimitação dos trechos com restrições à urbanização e dos trechos sujeitos a controle especial em função de ameaça de desastres naturais;
- III - definição de diretrizes específicas e de áreas que serão utilizadas para infraestrutura, sistema viário, equipamentos e instalações públicas, urbanas e sociais;
- IV - definição de parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo a promover a diversidade de usos e contribuir para a geração de emprego e renda;
- V - a previsão de áreas para habitação de interesse social por meio da demarcação de zonas especiais de interesse social e de outros instrumentos de política urbana, quando o uso habitacional for permitido;
- VI - definição de diretrizes e instrumentos específicos para proteção ambiental e do patrimônio histórico e cultural; e
- VII - definição de mecanismos para garantir a justa distribuição dos ônus e benefícios decorrentes do processo de urbanização do território de expansão urbana e a recuperação para a coletividade da valorização imobiliária resultante da ação do poder público (BRASIL, 2001).

Este artigo, incluído ao Estatuto pela Lei Federal 12.608/12, condiciona a aprovação de projetos de parcelamento do solo no novo perímetro urbano à existência do projeto específico citado anteriormente.

Outro importante instrumento a ser citado é o Zoneamento Ambiental, instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), aprovada pela Lei Federal 6.938/1981, que tem por objetivo a melhoria e a recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

Ainda, o Zoneamento Ambiental foi regulamentado pelo Decreto Federal nº 4.297/2002 que regulamenta, especificamente, o Art. 9º, inciso VII da PNMA, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico Econômico, com intuito de estabelecer as diretrizes de proteção ambiental destinadas a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população. Este instrumento foi incorporado também ao Estatuto da Cidade, sendo incluído ao rol de instrumentos utilizados para a política urbana.

### 3.1. Avaliação de Cenários

A fim de verificar os impactos na bacia a partir da mudança dos padrões de uso e ocupação do solo, criaram-se diferentes cenários de alteração desses padrões.

Partindo-se do mapa de usos do ano base de 2021 da série MapBiomas, aqui denominado de Cenário Zero (C0), foram promovidas diferentes alterações nas condições de uso do solo para criar 12 novos cenários, descritos a seguir.

Para facilitar o entendimento destes cenários serão utilizadas a seguir formas geométricas para representar algumas situações referentes à bacia. O retângulo representa a cena MapBiomas que, além de conter a AIE Canoas, extrapola a área de estudo. Já a AIE Canoas é representada por uma Figura oval, as áreas urbanas são representadas por um triângulo, os corpos d'água por uma linha e as Áreas de Preservação Permanente (APPs) por faixas que se sobrepõem a essa linha. Assim o C0 é representado pela Figura 3.1.1:

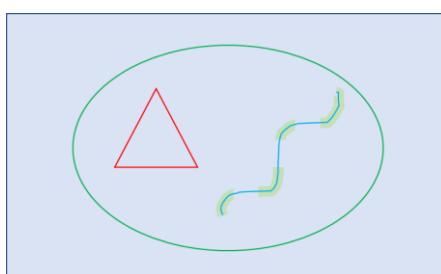


Figura 3.1.1 – Representação do Cenário Zero (C0).

Um detalhe importante desta representação trata da não continuidade da faixa da APP, simbolizando a existências de usos e ocupações incongruentes com aqueles permitidos em lei, afetando a proteção dos corpos hídricos.

Durante a fase de diagnóstico, foi realizado o mapeamento dos usos, especificamente para a área da AIE Canoas com base em imagens de alta resolução do ano de 2022, e aqui denominado de mapUsos e representado conforme a Figura 3.1.2.

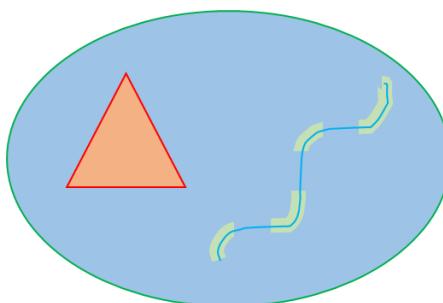


Figura 3.1.2 – Representação do mapeamento de usos da fase de diagnóstico (mapUsos).

Neste mapeamento, os núcleos urbanos foram considerados em sua totalidade, de acordo com os seus limites, mesmo que no seu interior fossem identificadas áreas verdes ou solo exposto, como se a densidade de ocupação fosse máxima. Neste caso, a representação do triângulo foi realizada com o preenchimento de sua área interna. Também se utilizou outra tonalidade da cor azul para distingui-lo dos usos do MapBiomass.

Comparando os resultados da aplicação dos filtros NDBI e NDVI descritos anteriormente, verificou-se que os dados da série MapBiomass subestima os valores de área impermeabilizada dentro dos núcleos urbanos. Assim, uma alternativa proposta foi a correção dessas áreas por meio deste filtro. Outra proposta de cenário foi a de restauração das áreas de APP e, por fim, o aumento das áreas de APP para um limite de 50 metros de acordo com o que está previsto no código de meio ambiente do município. As representações geométricas dessas situações podem ser visualizadas na Figura 3.1.3.



Figura 3.1.3 – Representação geométrica das correções de usos.

A combinação destas alterações possibilitou a geração de 12 cenários distintos, que foram utilizados nas simulações para avaliar os impactos na produção de sedimentos, nas taxas

de exportação de nutrientes, no escoamento superficial direto. Esses cenários estão representados na Figura 3.1.4.

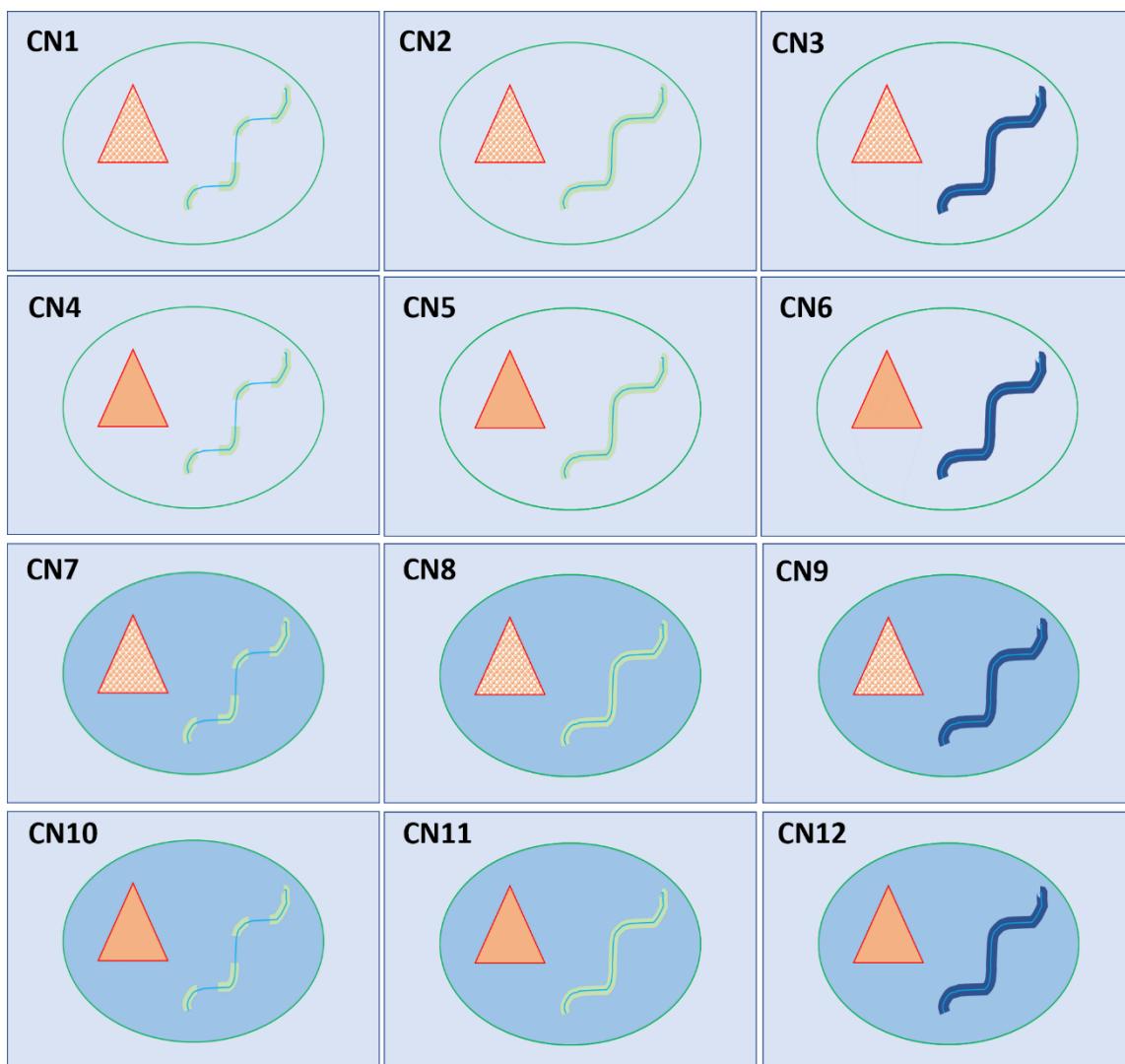


Figura 3.1.4 – Representação dos diferentes cenários usados nas simulações (CN<sub>1-12</sub>).

Ainda que as simulações realizadas tenham contemplado toda a área a montante da foz do rio Pouso Alegre no rio Canoas, e as respectivas planilhas e dados estejam anexados digitalmente a este relatório, aqui serão apresentados apenas os resultados das sub-bacias 24 e 25, que exemplificam as tendências obtidas nos cenários propostos. Além disso, uma vez que a maior parte dos núcleos urbanos na AIE Canoas estão na área da sub-bacia 24, algumas simulações foram realizadas para esta sub-bacia especificamente, dividida em 5 sub-bacias de menor ordem. Na Figura 3.1.5 podemos visualizar a configuração espacial da distribuição dos núcleos urbanos em relação à sub-bacia 24 dividida nas 5 sub-bacias.

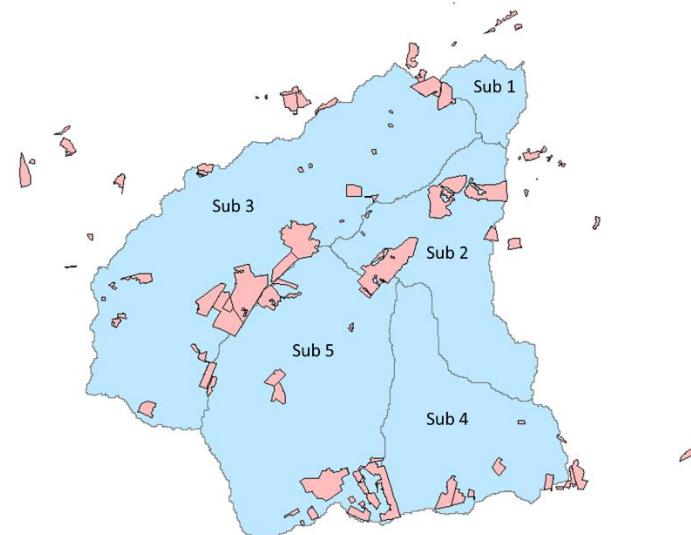


Figura 3.1.5 - Configuração espacial dos núcleos urbanos em relação à sub-bacia 24.

Os percentuais de cada classe de usos em cada um dos cenários analisados para a sub-bacia 24 podem ser observados na Figura 3.1.6.

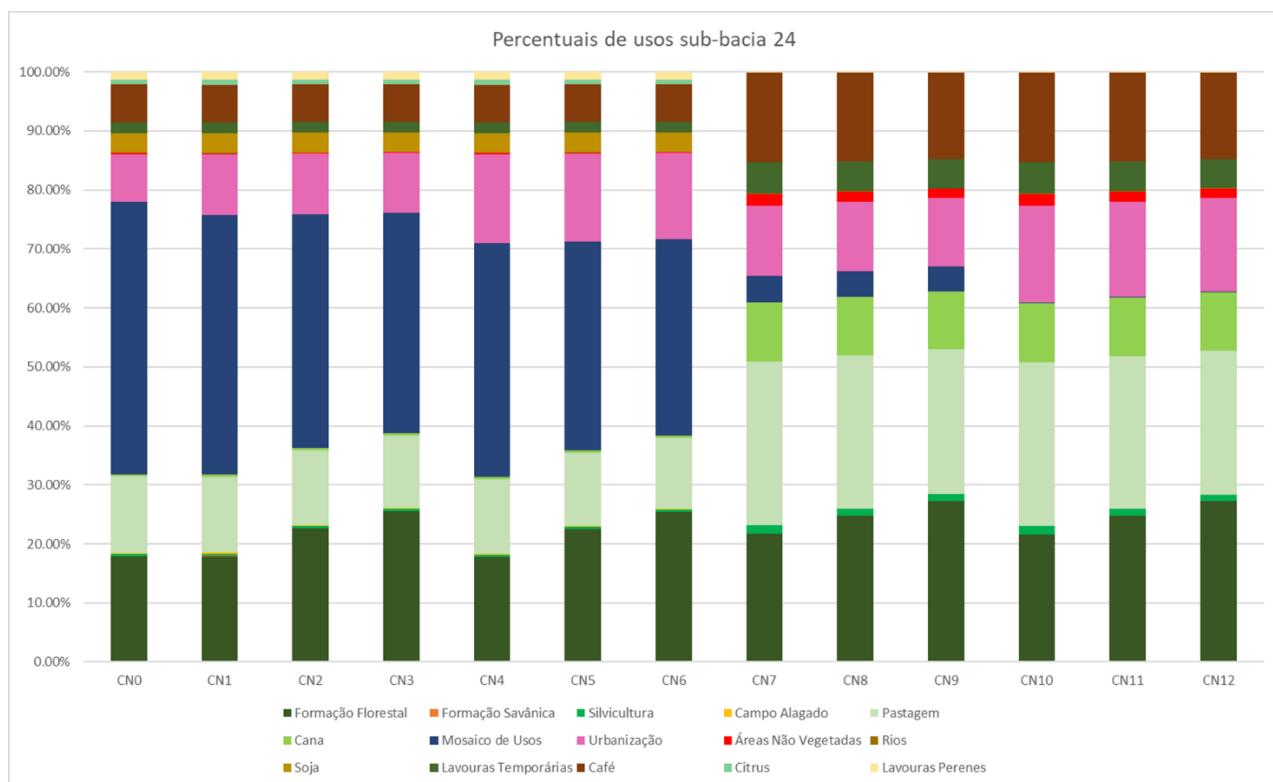


Figura 3.1.6 – Percentuais de usos na sub-bacia 24 para cada cenário.

Os arquivos usados na avaliação de cenários são apresentados no Anexo Digital 3.1.1.

### 3.1.1. Impacto nas taxas de produção de sedimentos

O modelo InVEST SDR foi utilizado para avaliar a taxa de produção de sedimentos de cada um dos cenários, sem alterar as demais variáveis do modelo que foram as já descritas na fase de diagnóstico. Na Figura 3.1.1.1 pode-se visualizar os resultados da modelagem para as sub-bacias 24 e 25 e, na Figura 3.1.1.2, estão detalhados os resultados obtidos para cada sub-bacia da sub-bacia 24.

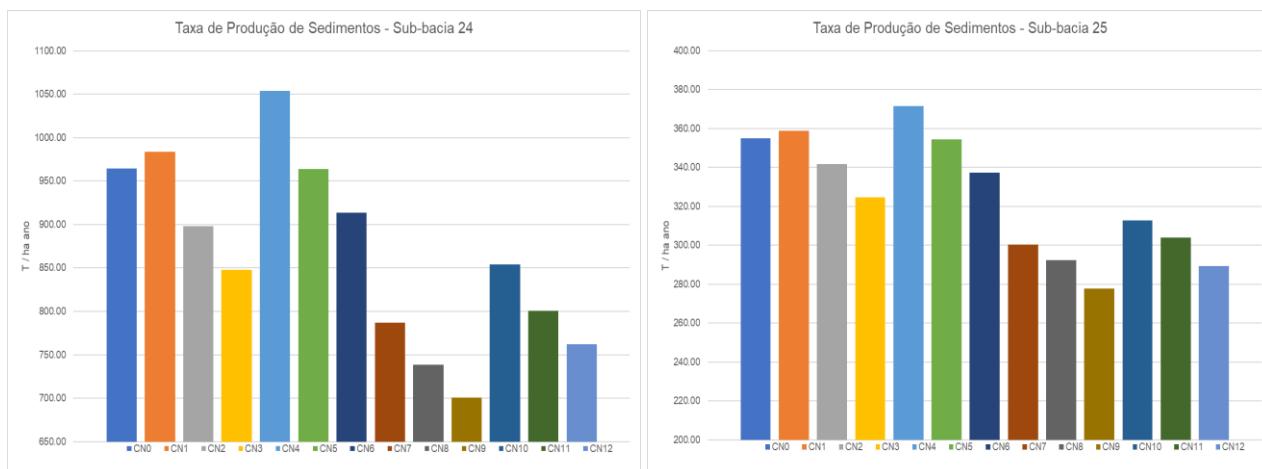


Figura 3.1.1.1 – Taxa de produção de sedimentos nas sub-bacias 24 e 25.

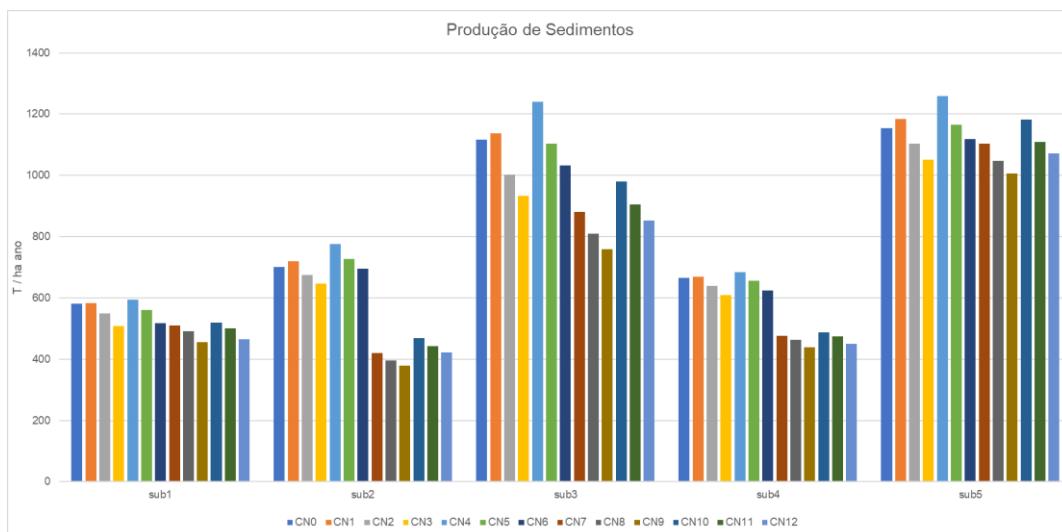


Figura 3.1.1.2 – Taxa de produção de sedimentos por sub-bacias da sub-bacia 24.

Da análise dos resultados, pode-se verificar que as taxas de produção de sedimentos aumentam com a expansão das áreas urbanizadas, da mesma forma que o modelo responde à revegetação das matas ciliares com o decaimento das taxas. As sub-bacias 3 e 5 da sub-bacia 24 são as mais impactadas e isto está diretamente relacionado ao impacto da urbanização nessas bacias, bem como às características do solo presente, que possui um fator de erodibilidade maior, em contraponto ao que ocorre na sub-bacia 25, cujas taxas são muito inferiores devido a presença de um solo com menor fator de erodibilidade.

Um aspecto a ser ressaltado é o fato de que a série do MapBiomas apresenta uma classe de usos denominada ‘Mosaico de Usos’, que representa, na verdade, uma mistura de classes que possuem um limiar muito próximo de resposta espectral, o que ocasiona uma certa confusão aos algoritmos de classificação. Em virtude disso, as taxas para os cenários que consideraram as classes MapBiomas foram maiores em relação aos cenários que consideraram o mapa de usos (mapUsos), gerado na fase de diagnóstico a partir de imagens com melhor resolução espacial, o que, provavelmente, reduz a confusão descrita anteriormente. Desta forma, pode-se considerar o cenário CN7 como o mais próximo da realidade atual da área de estudo.

Comparando-se o cenário CN9 em relação ao CN7 verifica-se uma significativa melhora das taxas quando a mata ciliar está presente. Observa-se que, mesmo com o adensamento da urbanização (cenários CN10, CN11 e CN12), mantém-se o decaimento das taxas com o aumento das áreas de APP, com valor até mesmo menor no CN12 em relação ao CN7, o que demonstra a importância da recuperação e expansão das áreas de APP.

### 3.1.2. Impacto nas taxas de exportação de nutrientes

O modelo InVEST NDR foi utilizado para avaliar a taxa de exportação de nutrientes – Nitrogênio (N) e Fósforo (P) – para cada um dos cenários, sem alterar as demais variáveis do modelo que foram as já descritas no item 2.2. Nas Figuras 3.1.2.1 a 3.1.2.4 podem-se visualizar os resultados da modelagem para as sub-bacias 24 e 25 e, nas Figuras 3.1.2.5 e 3.1.2.6 são apresentados os resultados obtidos para cada sub-bacia da sub-bacia 24.



Figura 3.1.2.1 – Taxa de exportação de N Total da sub-bacia 24.

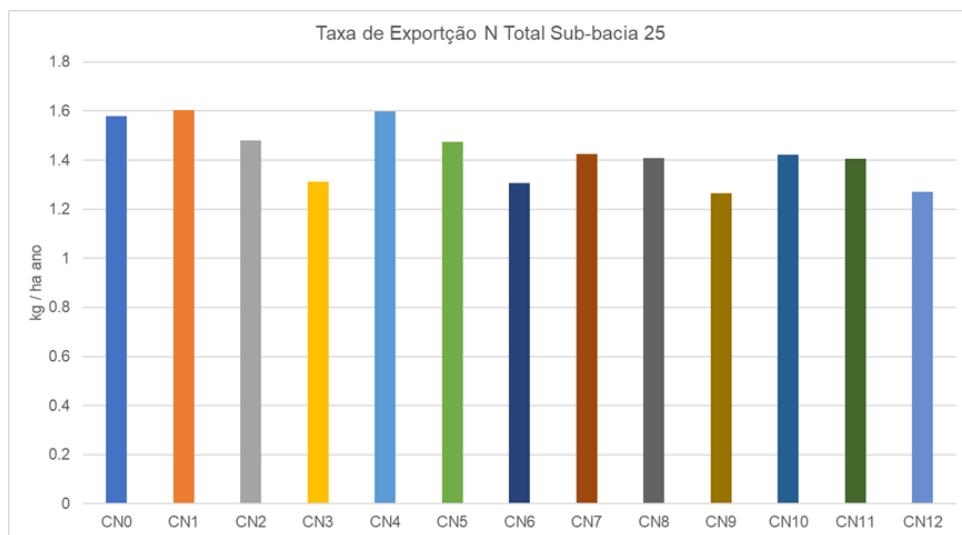


Figura 3.1.2.2 – Taxa de exportação de N Total da sub-bacia 25.

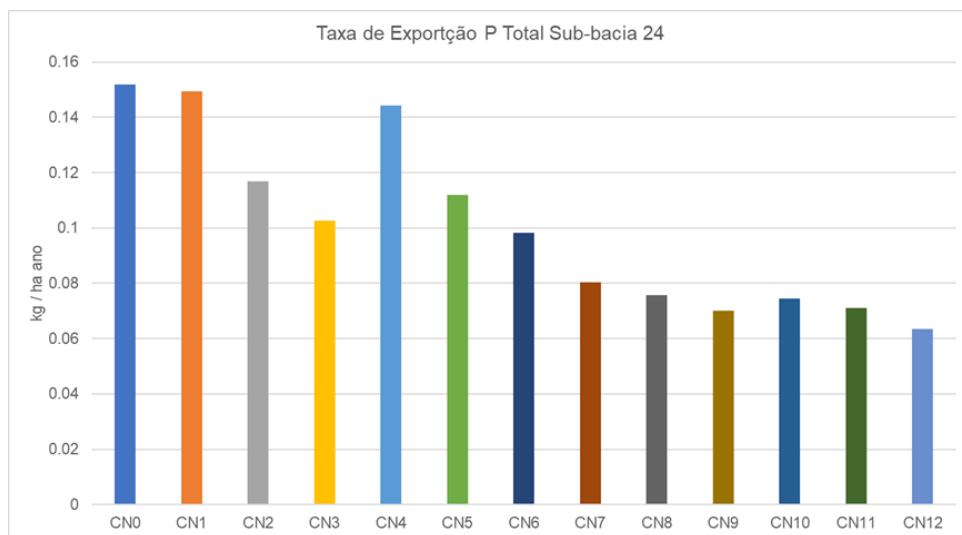


Figura 3.1.2.3 – Taxa de exportação de P Total da sub-bacia 24.

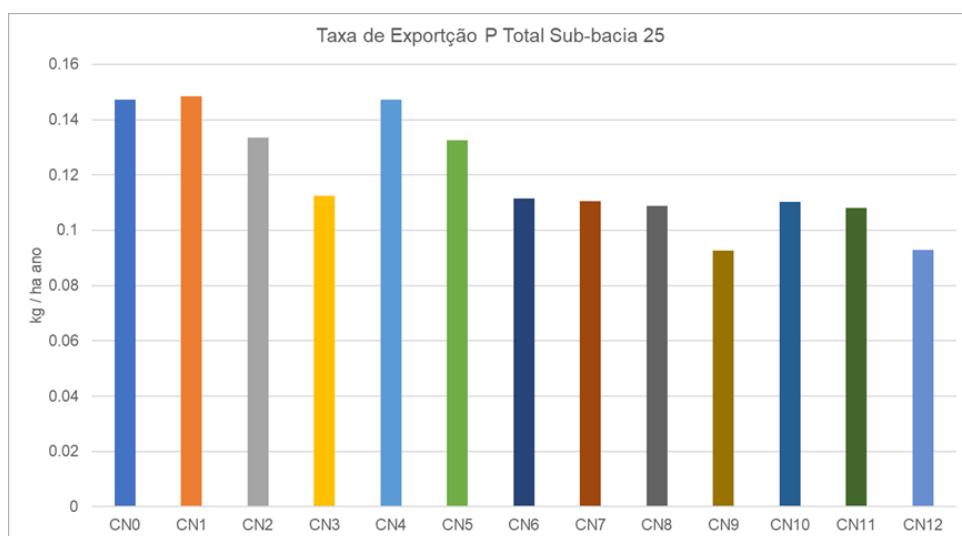


Figura 3.1.2.4 – Taxa de exportação de P Total da sub-bacia 25.

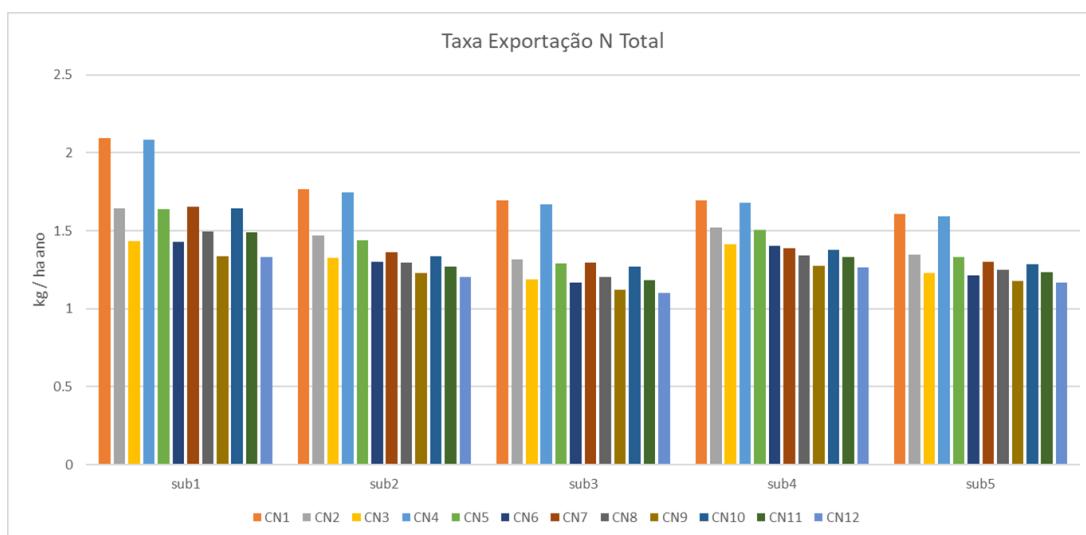


Figura 3.1.2.5 – Taxa de exportação de N Total por sub-bacias da sub-bacia 24.

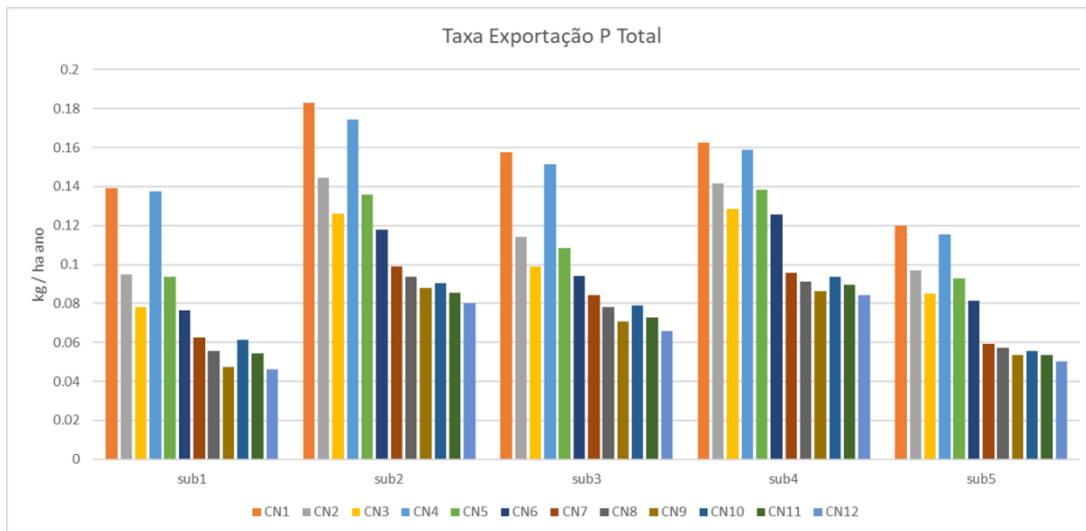


Figura 3.1.2.6 – Taxa de exportação de P Total por sub-bacias da sub-bacia 24.

Uma vez que as variáveis N Total e P Total são influenciadas mais diretamente pelas atividades agrícolas, a alteração de uso para urbanização não implica em aumento das taxas de exportação desses nutrientes. Entretanto, assim como no caso da exportação de sedimentos, a exportação de nutrientes reduz com o aumento das matas ciliares, o que fica evidente ao analisar os resultados encontrados com a simulação.

### 3.1.3. Impactos no escoamento superficial

A mudança no padrão de usos em uma bacia hidrográfica pode impactar diretamente o escoamento superficial uma vez que a urbanização promove a impermeabilização do solo, diminuindo as taxas de infiltração e aumentando o deflúvio.

Para avaliar os impactos no escoamento superficial em virtude da alteração do padrão de usos para cada cenário, optou-se pela adoção de uma modelagem chuva-vazão, que foi

realizada para a sub-bacia 24 devido a maior alteração da classe urbanização se dar exatamente nesta sub-bacia. Para esta avaliação foi utilizado o software HEC-HMS que realiza a modelagem em 4 etapas a saber:

- 1<sup>a</sup>) Separar a chuva efetiva, calculando qual a parte da precipitação realmente gera escoamento efetivo. Para esta etapa o modelo selecionado foi o do método do número curva do NRCS;
- 2<sup>a</sup>) Transformar a chuva efetiva determinando o escoamento direto produzido pela chuva efetiva. Neste caso adotou-se o modelo do hidrograma unitário sintético de Clark para a transformação;
- 3<sup>a</sup>) Considerar um modelo de escoamento de base a ser adicionado ao longo do tempo. Na falta de dados que pudessem embasar um modelo para o escoamento de base, poder-se-ia considerar neste caso uma vazão de referência como a  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{99}$ , mas, por entendermos que isso não influenciaria as análises do impacto das mudanças no uso do solo nos picos do hidrograma de saída do modelo, preferiu-se por não considerar nesta modelagem o escoamento de base;
- 4<sup>a</sup>) Propagar e amortizar das vazões ao longo dos canais no trajeto até a saída da bacia. Uma vez que não temos nenhum reservatório nesta bacia e os trechos são curtos, considerou-se apenas um tempo de retardo para o deslocamento baseado no tempo de Lag do NRCS.

A separação do escoamento é a etapa do método NRCS que consiste na determinação volume de água que entra na bacia através da precipitação que será escoado superficialmente, por meio de um balanço hídrico. A precipitação que cai sobre uma bacia hidrográfica pode seguir quatro caminhos potenciais: parte da precipitação é interceptada pela vegetação e evaporada para a atmosfera; parte cairá sobre o solo e irá evaporar; parte irá infiltrar no solo; e o restante irá escoar superficialmente na bacia. A quantidade de precipitação e o parâmetro *Curve Number* (CN) irão determinar a quantidade de água que irá escoar na bacia e encontrar os cursos d'água superficiais.

O parâmetro CN, ou número de escoamento da bacia hidrográfica, retrata as condições da camada superficial do solo, que pode variar desde uma cobertura muito permeável até uma cobertura completamente impermeável, e da camada superior de solo, que pode ter capacidade de infiltração alta ou baixa, respectivamente.

O CN é um parâmetro adimensional e seu valor varia entre 0 e 100, sendo que 0 corresponde a um solo com capacidade de infiltração infinita e 100 corresponde a um solo totalmente impermeável (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). O método CN do NRCS é baseado na relação simples  $P_e = P - F_a - I_a$ , como pode ser visto na Figura 3.1.3.1.

Em geral  $P_e \leq P$

Depois que o escoamento começa  $F_a \leq S$

Escoamento Potencial  $P - I_a$

Premissa assumida pelo NRCS:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Combinando esta premissa com a relação:

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

Adota-se  $I_a = 0.2S$  portanto:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Com:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ CN} \text{ (Unidades no SI; } 30 < CN < 100)$$

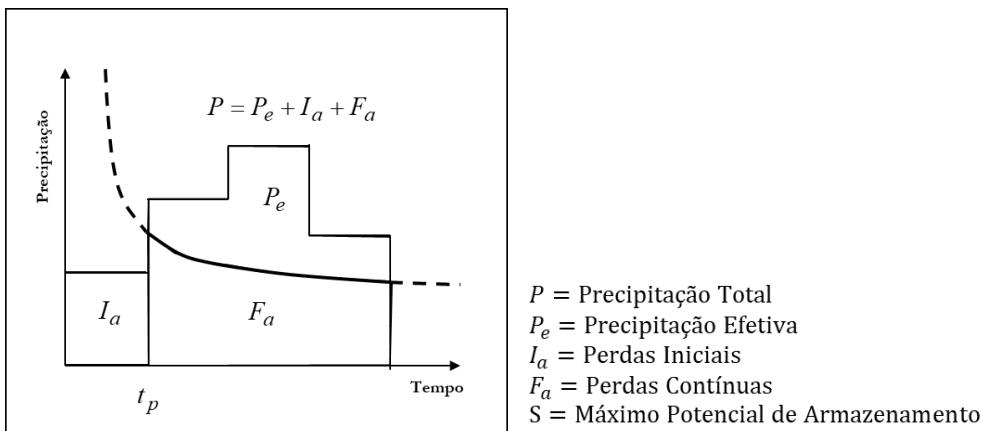


Figura 3.1.3.1 – Separação do escoamento superficial direto.

Para a aplicação do hidrograma unitário sintético de Clark, os tempos de concentração  $T_c$  e de propagação  $T_{Lag}$  foram calculados de acordo com o método de Denver 1969. A chuva adotada para a simulação dos eventos foi considerada como uma chuva média e de recorrência, tendo sido adotado a chuva de 24 horas para um período de tempo de retorno de 5 anos, segundo a curva IDF determinada para a cidade de Franca (Penner e Nascimento, 2018), conforme a equação 3.1.3.1.

$$i = \frac{14,623 * Tr^{0,155}}{(t + 12)^{0,759}}$$

Equação 3.1.3.1

A distribuição da chuva calculada (107 mm) se deu de acordo com o hietograma de Huff para o segundo quartil e pode ser visualizada na Figura 3.1.3.2.

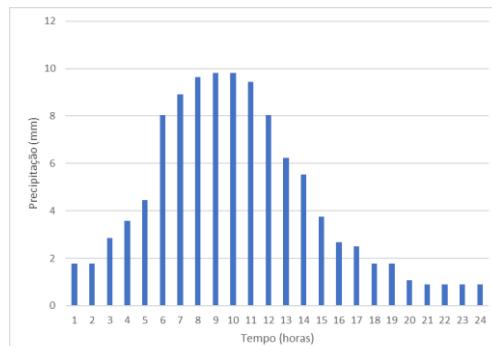


Figura 3.1.3.2 - Hietograma Chuva 24 horas TR 5 anos.

O esquema da bacia simulada no HEC-HMS pode ser visualizado na Figura 3.1.3.3.

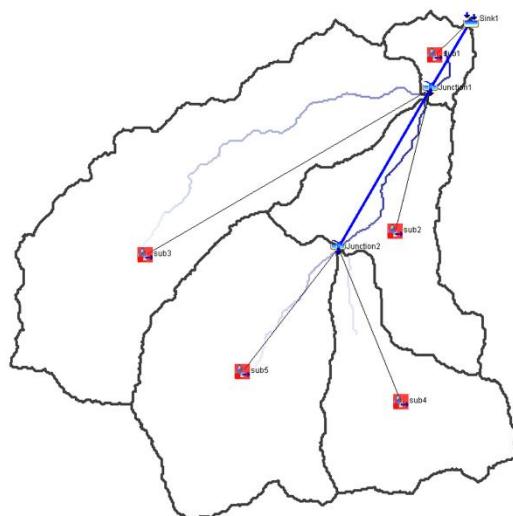


Figura 3.1.3.3 – Esquema de bacia para simulação no HEC-HMS.

Os resultados para as vazões de pico do hidrograma de resposta para a chuva simulada, em cada elemento do esquema de simulação, são apresentados nas Figuras 3.1.3.4 e 3.1.3.5.

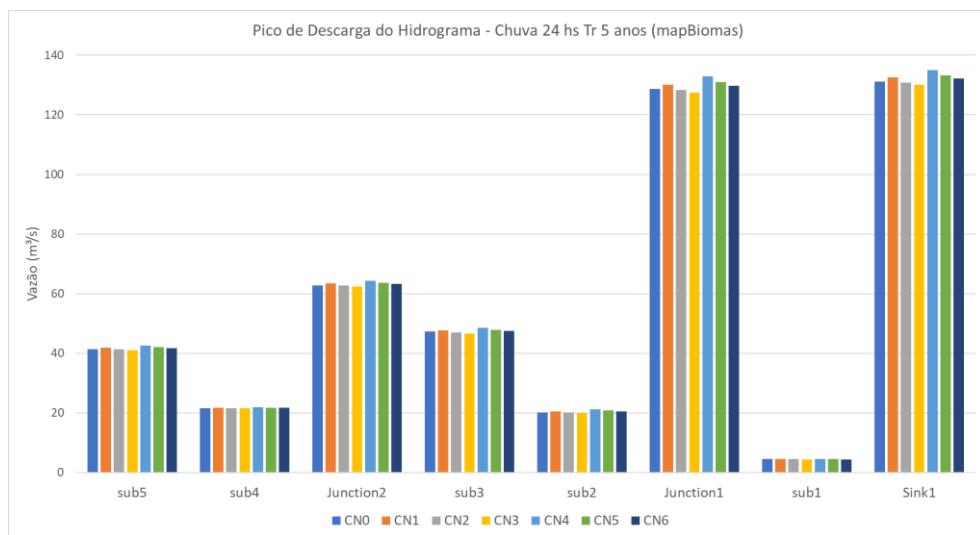


Figura 3.1.3.4 – Pico de descarga do hidrograma para os cenários MapBiomas.

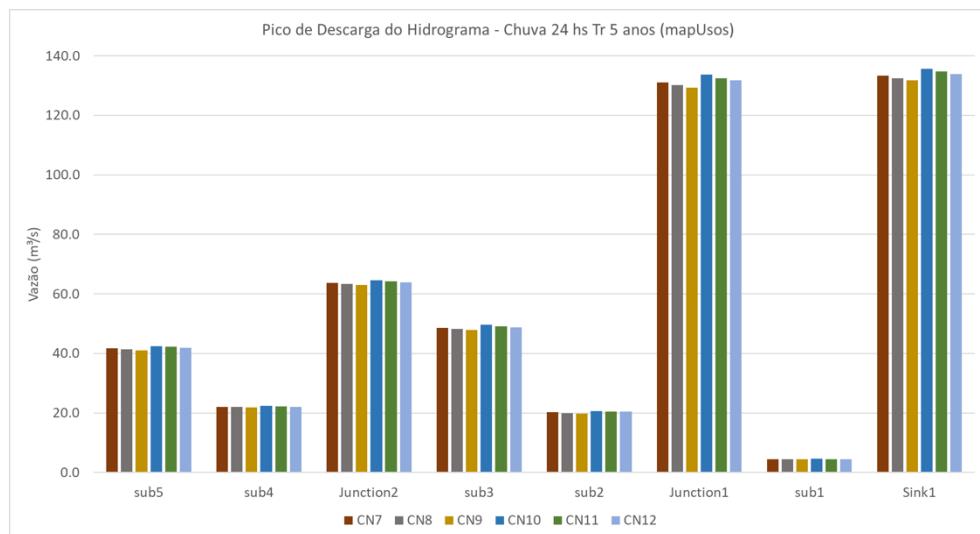


Figura 3.1.3.5 – Pico de descarga do hidrograma para os cenários mapUsos.

A Figura 3.1.3.6 apresenta em maior detalhe os picos de hidrograma para o elemento Junction1 em todos os cenários simulados.

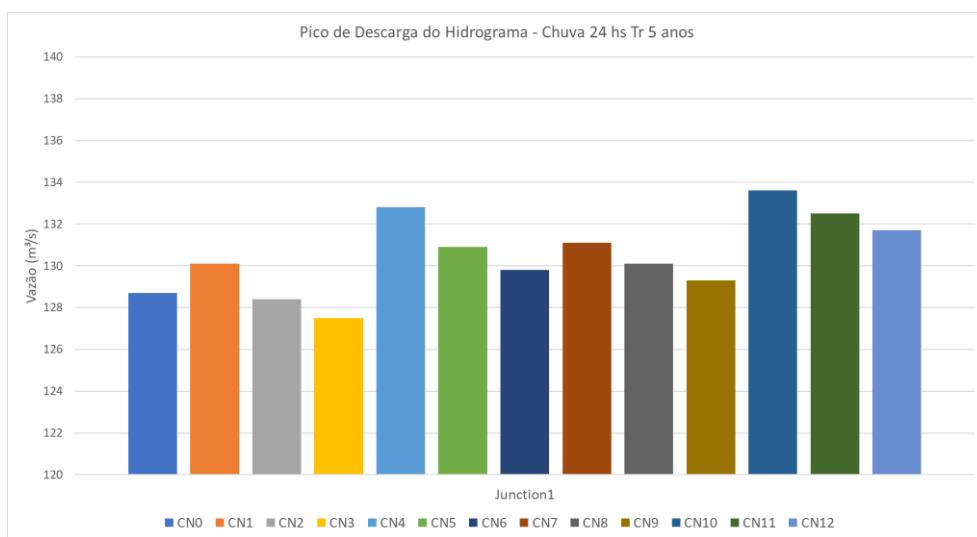


Figura 3.1.3.6 – Resultados do pico de descarga do hidrograma na junção 1.

Com base nos testes e simulações realizadas, verificou-se que as diferenças nos picos de hidrograma na saída da sub-bacia 24 são percentualmente baixos e não representam uma alteração significativa, tampouco os tempos para a chegada no pico do hidrograma sofreram alterações, como pode ser visualizado nos hidrogramas da Figura 3.1.3.7.

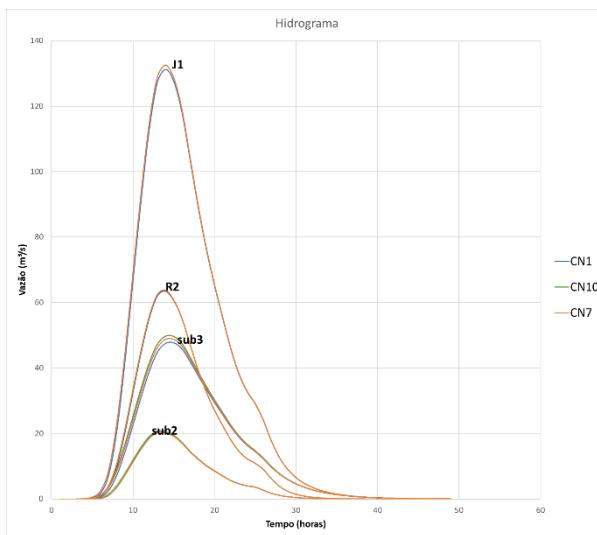


Figura 3.1.3.7 – Hidrogramas de resposta para alguns cenários.

Foram realizados alguns testes para chuvas mais intensas (com maiores períodos de retorno) em tempos de duração mais curtos e os resultados foram similares. Sendo assim, não serão apresentados neste relatório. Os arquivos usados nas simulações são apresentados no Anexo 3.1.3.1.

### 3.1.4. Impactos na disponibilidade hídrica

Para avaliarmos os impactos na disponibilidade hídrica foram aplicadas taxas de crescimento de 5, 10, 15 e 20% aos valores de usos consuntivos determinados na fase de

diagnóstico e realizado o balanço hídrico para diferentes valores de vazão de referência, tanto para a média da série histórica, para o período seco e para o período chuvoso.

Para avaliarmos o balanço hídrico utilizamos um módulo integrado ao *plug in* WARM GIS. O esquema de balanço hídrico desenvolvido no *plug in* consiste na contabilização dos pontos de captação inseridos no sistema, calculando a vazão remanescente e os possíveis déficits de não atendimento, caso a vazão remanescente atinja um nível inferior a um patamar mínimo. O modelo opera em modo permanente, através de valores únicos de vazão por minibacia, representando estatísticas das séries hidrológicas como a  $Q_{7,10}$  (vazão média de 7 dias e 10 anos de ser menor ou igual em um ano qualquer) ou a  $Q_{95}$  (vazão com 95% da curva de duração), entre outros indicadores.

Os dados de retiradas podem ser considerados de forma pontual, com o fornecimento de pontos nos quais a captação será atribuída à minibacia sobre a qual estiver localizado o respectivo ponto. No caso do presente estudo, as vazões de retirada foram contabilizadas por sub-bacias e representadas pelos seus respetivos centroides. A Figura 3.1.4.1 apresenta um esquema do modelo de balanço hídrico, onde as variáveis são explicitadas na sequência.

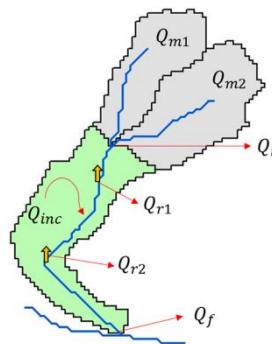


Figura 3.1.4.1 – Representação do módulo de balanço hídrico do WARM-GIS.

Onde:

$Q_{m1}, Q_{m2}, \dots, Q_{mn}$  = vazões remanescentes das minibacias de montante;

$Q_i$  = vazão inicial da minibacia;

$Q_{inc}$  = vazão incremental da minibacia;

$Q_{r1}, Q_{r2}, \dots, Q_{rn}$  = pontos de retirada localizados em qualquer local no interior da minibacia;

$Q_f$  = vazão remanescente final da minibacia;

O primeiro passo da simulação é o cálculo da vazão inicial da minibacia, sendo igual a zero nas minibacias de ordem 1, e dada pelo somatório das saídas das minibacias de montante para as minibacias de demais ordens, de acordo com a equação:

$$Q_i = 0, \text{ se } Ord = 1$$

$$Q_i = \sum_{n=1}^{NM} Q_{mn}, \text{ se } Ord > 1$$

Sendo:

$NM$  = o número de minibacias à montante.

Em seguida, calcula-se a vazão incremental da minibacia, dado pela seguinte equação:

$$Q_{inc} = Q_{ent} - Q_{i,nat}$$

Sendo:

$Q_{ent}$  = o valor de vazão fornecido como dado de entrada pelo usuário;

$Q_{i,nat}$  = o valor de vazão inicial da minibacia, desconsiderando-se o efeito das retiradas de montante.

A vazão final remanescente da minibacia será calculada em função de um critério da vazão ambiental ( $Q_{amb}$ ), que pode ser atribuído como zero ou algum percentual da vazão natural do trecho, de acordo com a relação:

$$Q_f = Q_i + Q_{inc} - \sum_{n=1}^{NR} Q_{rn}, \text{ se } Q_f \geq Q_{amb}$$

$$Q_f = Q_{amb}, \text{ se } Q_f < Q_{amb}$$

Por fim, são calculados os déficits de não atendimento para os casos em que a vazão remanescente atinge o patamar da vazão ambiental, de acordo com a relação:

$$Q_{def} = 0, \text{ se } Q_f \geq Q_{amb}$$

$$Q_{def} = \sum_{n=1}^{NR} Q_{rn} - Q_i - Q_{inc} + Q_{amb}, \text{ se } Q_f < Q_{amb}$$

No caso da existência de reservatórios, a vazão final no ponto de barramento é substituída pela vazão liberada à jusante ( $Q_{jus}$ ), cujo valor é fornecido pelo usuário.

$$Q_f = Q_{jus}$$

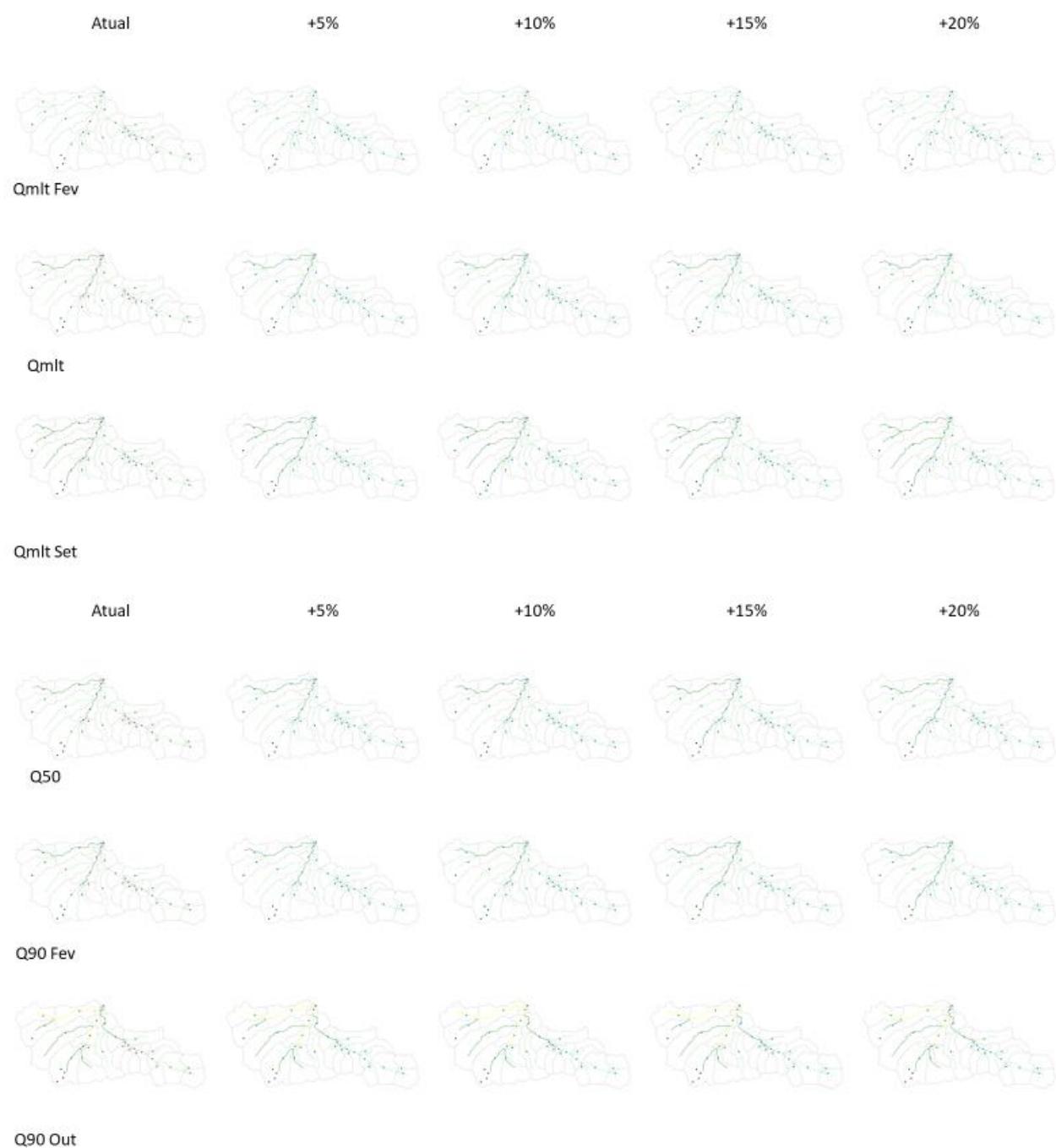
O resultado do módulo do balanço hídrico é expresso através do Saldo Hídrico, índice que relaciona a quantidade de água disponível e a quantidade de água remanescente ( $Q_f$ ) em cada trecho de rio. O índice é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$SH = \frac{Q_{disp} - Q_f}{Q_{disp}}$$

Onde:

$Q_{disp}$  = a vazão disponível, representada pela vazão natural acrescida do efeito dos reservatórios e transposições.

O resultado do balanço hídrico para os cenários de crescimento, para diferentes vazões de referência estão apresentados na Figura 3.1.4.2, e no anexo 3.1.4 .



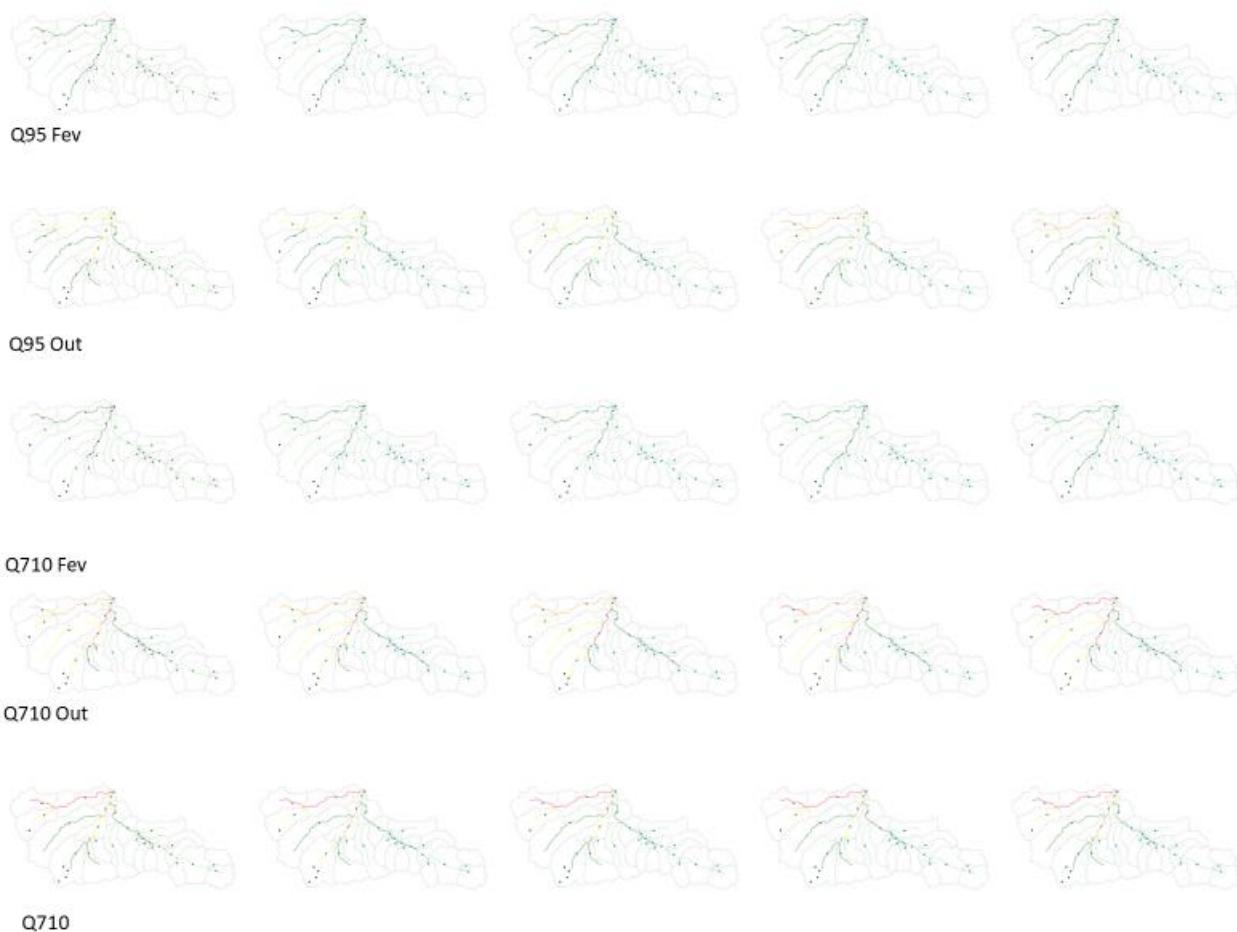


Figura 3.1.4.2 – Resultados do balanço hídrico para diferentes cenários de crescimento.

Os resultados do balanço hídrico realizado estão espacializados por trecho em função do índice de estresse hídrico de acordo com a classificação apresentada na Figura 3.1.4.3.

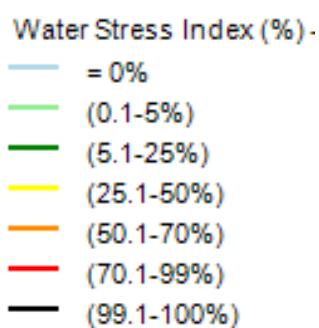


Figura 3.1.4.3 – Classificação do balanço hídrico segundo classes de estresse hídrico.

A partir das análises realizadas, pode-se depreender que no período chuvoso não se verifica problemas de disponibilidade hídrica num cenário de maior crescimento, mesmo para vazões de referência mais baixas como a  $Q_{7,10}$ . Durante o período seco, para as vazões de referência como a  $Q_{7,10}$ , mesmo no cenário atual, já existem trechos com níveis altos de estresse hídrico, o que faz com que os cenários de crescimentos da demanda acentuem esses problemas. No entanto, isso não chega provocar muitas alterações nas classes de

estresse hídrico dos trechos entre a situação atual e o cenário de 20% de crescimento. Adicionalmente é apresentado um estudo dos impactos nas vazões em virtude da alteração do Número Curva no Anexo 3.1.4.1 e um prognóstico da qualidade da água no Anexo 3.1.4.2.

### **3.1.5. Entendimentos com a avaliação dos cenários**

As diferentes simulações realizadas com os diferentes cenários serviram para um grande entendimento da resposta da bacia frente às alterações dos padrões de uso. Pode-se depreender o comportamento de cada variável avaliada de acordo com as alterações propostas. Ao compararmos os resultados das simulações à realidade encontrada na bacia quando de seu diagnóstico (descrito no relatório 2), já era esperado problemas quanto à produção de sedimentos e as respectivas taxas de exportação.

Assim, o principal elemento a ser destacados resultados diz respeito à resposta da bacia no sentido de diminuir os impactos negativos aos corpos hídricos e, assim, aos mananciais de abastecimento quando se aumenta a área florestada das matas ciliares. Tal resultado foi fundamental para embasar a proposta de zoneamento da bacia e as diretrizes para a sua ocupação.

## **3.2. Análise Multicritério para o Zoneamento Ambiental**

A fim de subsidiar o processo de zoneamento ambiental da AIE Canoas, optou-se por utilizar a avaliação multicritério de diferentes variáveis espaciais no âmbito da área de estudo, método que auxilia na avaliação e na proposição de soluções para questões influenciadas por diferentes variáveis. A avaliação multicritério permite o cruzamento dessas variáveis de forma ponderada, indicando as áreas com maior e menor suscetibilidades, estabelecendo, com isso, bases para a proposição de um ordenamento territorial.

### **3.2.1. Análise Hierárquica de Processos (AHP)**

O modelo da avaliação multicritério adotado foi a hierarquização de processos. A AHP (sigla em inglês para *Analytic Hierarchy Process*) auxilia a tomada de decisão baseada em critérios qualitativos e quantitativos, tendo como objetivo viabilizar o julgamento de especialistas no processo de decisão, dividindo problemas complexos em problemas mais simples, na forma de hierarquia de decisão (SAATY, 1991). Tem por ideia central realizar o estudo de sistemas por meio de uma sequência de comparações, aos pares, dos condicionantes (variáveis) que têm influência no sistema considerado.

A AHP divide o problema geral em avaliações de menor importância, enquanto mantém, ao mesmo tempo, a participação desses problemas menores na decisão global. Ou seja, ao encarar um problema complexo, é mais fácil dividi-lo em outros menores porque, quando solucionados individualmente e depois integrados, representam a decisão do problema inicial buscada. Para tanto, utiliza-se uma tabela de comparação que quantifica os pesos

das variáveis a partir de uma avaliação semântica. A Tabela 3.2.1.1 apresenta a escala de comparações da AHP proposta por Saaty (1991).

Tabela 3.2.1.1 - Escala de comparações da AHP, utilizada no julgamento da importância relativa de elementos na análise pareada, conforme proposto por Saaty (1991).

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial Um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos Possibilidade de compromissos adicionais

Outra vantagem do processo AHP é que ele apresenta um índice de consistência que verifica se o especialista tem realizado comparações consistentes entre os diferentes pares de variáveis, avaliando a coerência geral dos julgamentos.

### 3.2.2. Modelo AHP adotado

Foram utilizados dois níveis hierárquicos para subsidiar o processo de zoneamento da AIE Canoas. Inicialmente, as variáveis foram agrupadas em três classes, conforme o tipo de informações que inserem no sistema. Os três grupos referem-se aos: 1) fatores de qualidade; 2) fatores de pressão; e 3) fatores ambientais. Na Figura 3.2.2.1 apresenta-se o modelo hierárquico adotado.



Figura 3.2.2.1 – Modelo de hierarquia adotado para subsídio ao zoneamento.

As variáveis selecionadas em cada grupo foram espacializadas para a área de estudo, divididas em 5 classes, recebendo valores de 1 a 5 de acordo com a suscetibilidade de representar problemas ambientais que impactassem os mananciais de abastecimento. Quando as variáveis puderam ser espacializadas em função de uma escala de valores, estas foram classificadas segundo os percentis.

### 3.2.2.1. Grupo de Qualidade

Nesse grupo se enquadram as variáveis que afetam diretamente a qualidade da água da bacia, e incluem quatro parâmetros: produção de sedimentos, nitrogênio e fósforo total, e a disponibilidade hídrica.

#### i. Total de sedimentos

Essa variável resulta das simulações realizadas com o modelo SDR/InVEST, já apresentadas no início do relatório de forma gráfica, mas representadas aqui de forma espacializada em mapa temático (Figura 3.2.2.1.1). Os valores para este caso, foram convertidos de toneladas/ha para uma escala normalizada, levando em conta os quartis dos dados (valores que dividem a amostra ordenada de dados em quatro partes iguais). Observa-se uma ocorrência de valores relativamente baixos em boa parte da bacia, com um aumento principalmente nas áreas no entorno das Cuestas Basálticas.

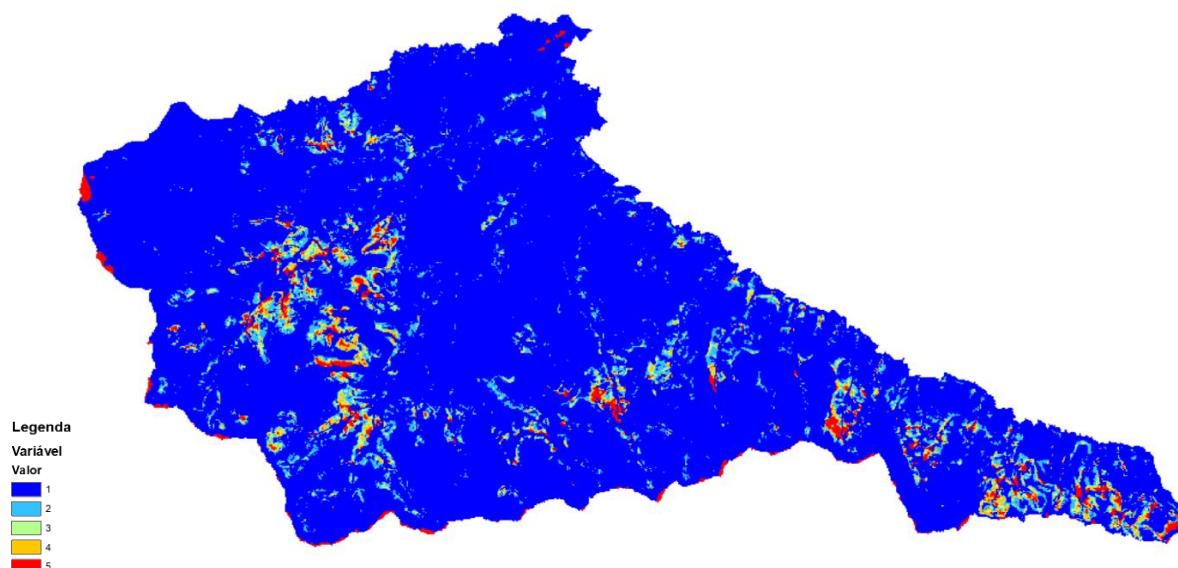


Figura 3.2.2.1.1 – Mapa do total de sedimentos, determinados com o base no modelo SDR (Nutrient Delivery Ratio) da plataforma InVEST.

#### ii. Nitrogênio e fósforo total

Os mapas, para este caso, resultam das simulações realizadas com o modelo NDR/InVEST. Os resultados desses parâmetros também já foram discutidos anteriormente, porém em termos de sub-bacias. Os resultados são mostrados nos mapas temáticos da Figura

3.2.2.1.2, já normalizados em 5 classes para as duas variáveis, indicam valores maiores ao longo dos cursos d'água, principalmente para o caso do nitrogênio.

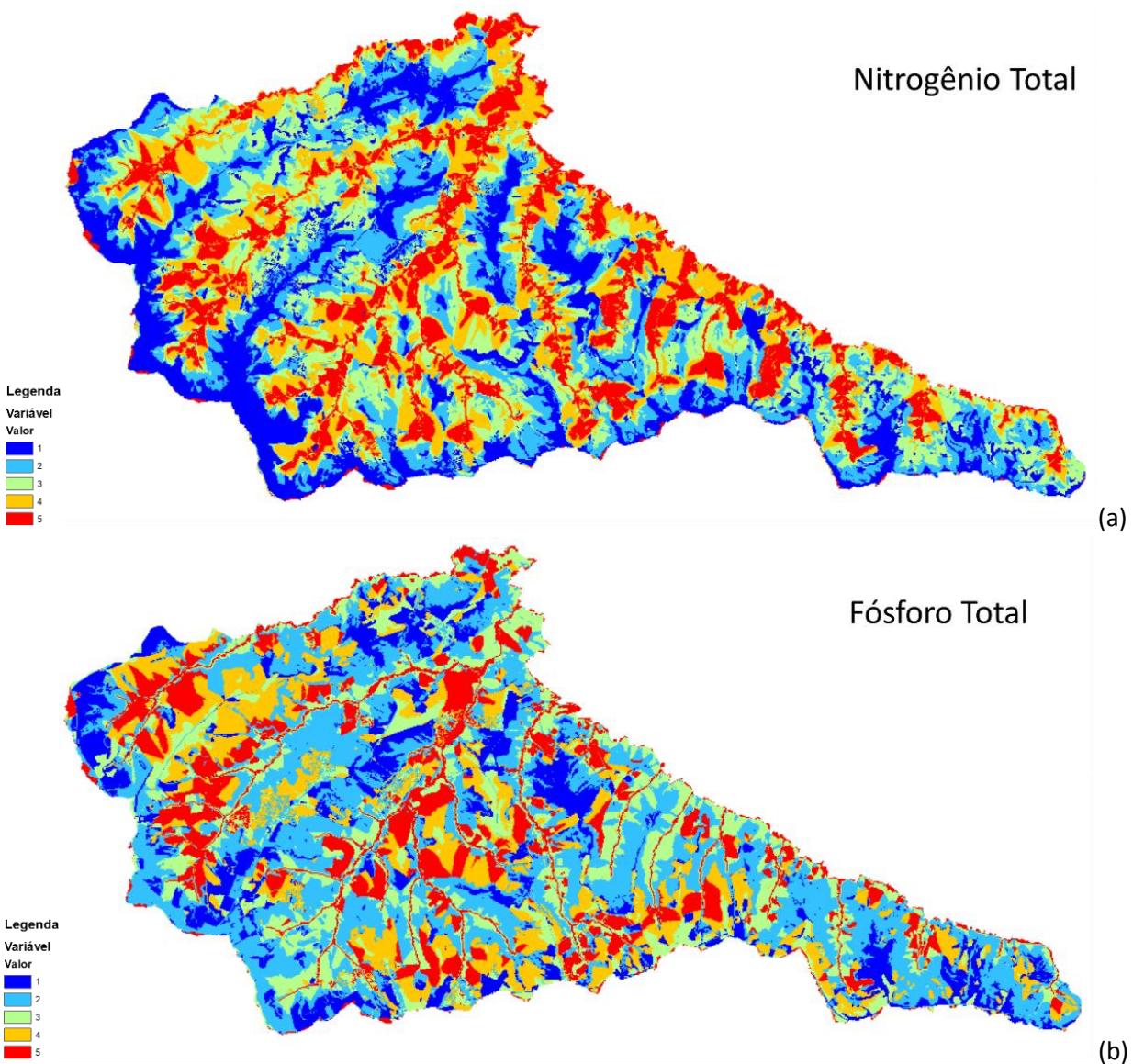
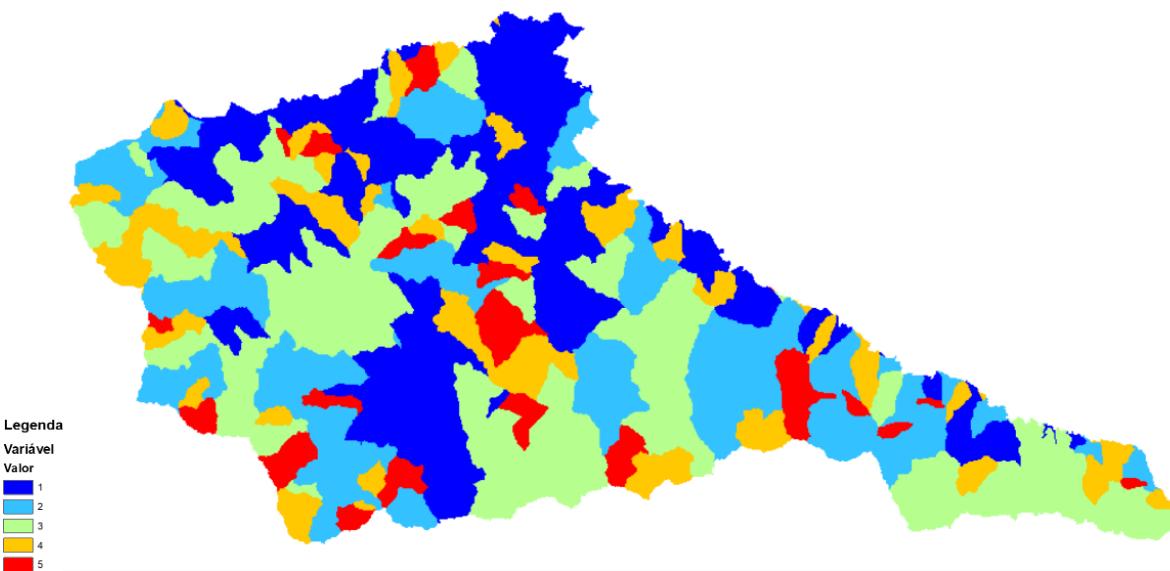


Figura 3.2.2.1.2 – Mapas do nitrogênio (a) e fósforo total (b), determinados com base no modelo NDR (Nutrient Delivery Ratio) da plataforma InVEST.

### iii. Disponibilidade hídrica

Os dados de disponibilidade hídrica são os mesmos já apresentados no relatório 2. Para esta análise, no entanto, são considerados valores normalizados em cinco classes, como exibido no mapa temático da Figura 3.2.2.1.3.



### 3.2.2.2. Grupo de Pressões

Neste grupo foram agrupadas as variáveis que expressam a pressão na situação hídrica em relação à distância dos corpos d'água e das atividades humanas. Por exemplo, as distâncias aos pontos de captação de água para o abastecimento público: quanto mais próximo uma ocupação estiver de um ponto de captação, maior é a pressão que poderá exercer sobre ela, acarretando maior possibilidade de contaminação. Nas Figuras 3.2.2.2.1 a 3.2.2.2.4 apresentam-se os mapas temáticos relativos às variáveis deste grupo.

#### i. Mapa de distância aos centros urbanos

Este mapa, conforme mostra a Figura 3.2.2.2.1, foi elaborado com base no conjunto de dados da malha viária da bacia do Rio Canoas e seu entorno, incluindo as áreas de Claraval, Ibiraci e Franca. A construção se baseou no tempo de deslocamento até os centros urbanos, levando em consideração as velocidades das rodovias existentes. Esse parâmetro é frequentemente utilizado nos modelos ou projeções de crescimento das áreas urbanas (e.g. Fu e Martin, 2002; Parrot e Stutz, 1991; Westervelt, BenDor e Sexton, 2011), relacionando o potencial de crescimento à acessibilidade aos serviços, concentrados em áreas urbanas (escolas, comércio, hospitais, etc.).

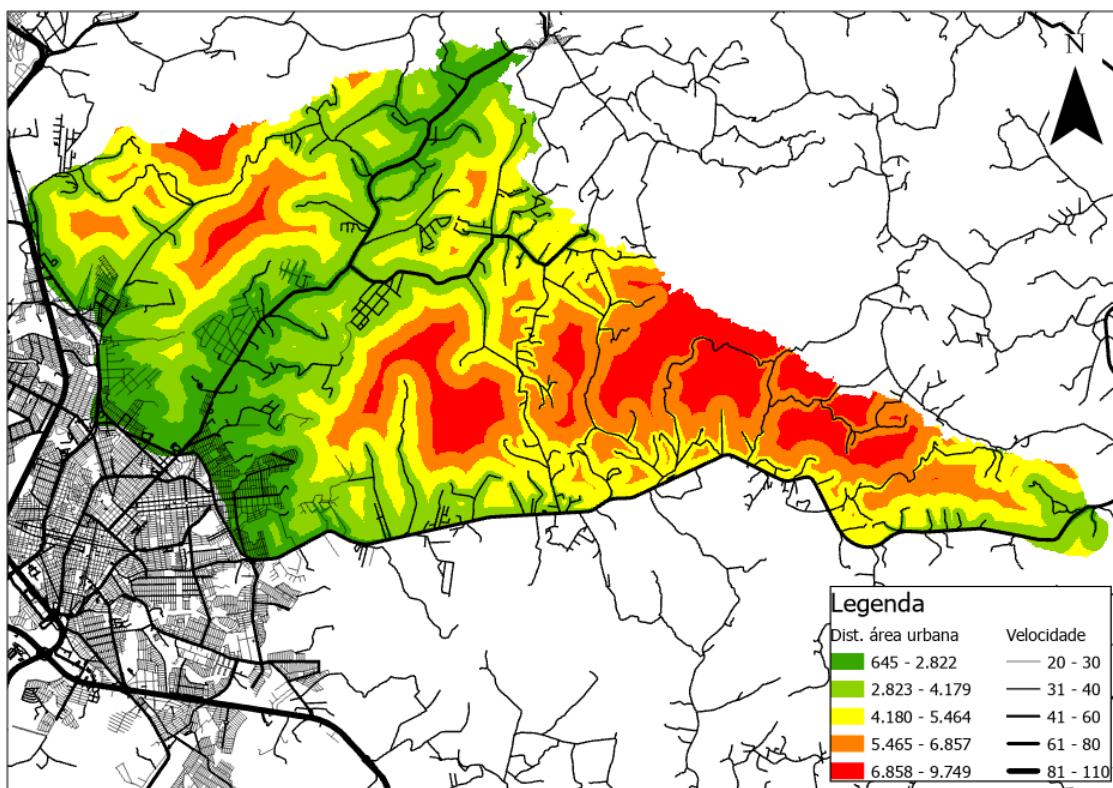


Figura 3.2.2.2.1 – Mapa da distância aos centros urbanos, considerada como fator de pressão sobre a bacia hidrográfica do rio Canoas.

A ferramenta custo de distância, disponível no software ArcGIS, permite determinar a menor distância cumulativa para cada célula de grade através de uma camada de pesos, que serve como resistência ao deslocamento, a qual é determinada com base na velocidade possível para cada pixel da imagem. Aqui, foram utilizadas as seguintes limitações de velocidades (ou custos), que foram levantadas observando-se os limites de velocidades existentes nas rodovias da região:

- 20km/h: vias rurais não pavimentadas
- 30 km/h: vias em áreas residenciais
- 40 km/h: rodovias secundárias
- 60 km/h: rodovias terciárias
- 80 km/h: rodovias de trânsito rápido (ex. rodovias João Traficante e Tancredo Neves)
- 100 e 110 km/h: rodovias de pista dupla

Para todos os demais locais, adotou-se a velocidade de 5 km/h, o que seria o equivalente ao deslocamento a pé. Como resultado, tem se um mapa de distância aos centros urbanos, que permite indicar áreas com maior probabilidade de expansão da área urbana, o que também caracteriza áreas com maior pressão antrópica. Este mapa foi então reclassificado conforme já descrito, resultando no mapa de distâncias apresentado na Figura 3.2.2.2 a seguir.

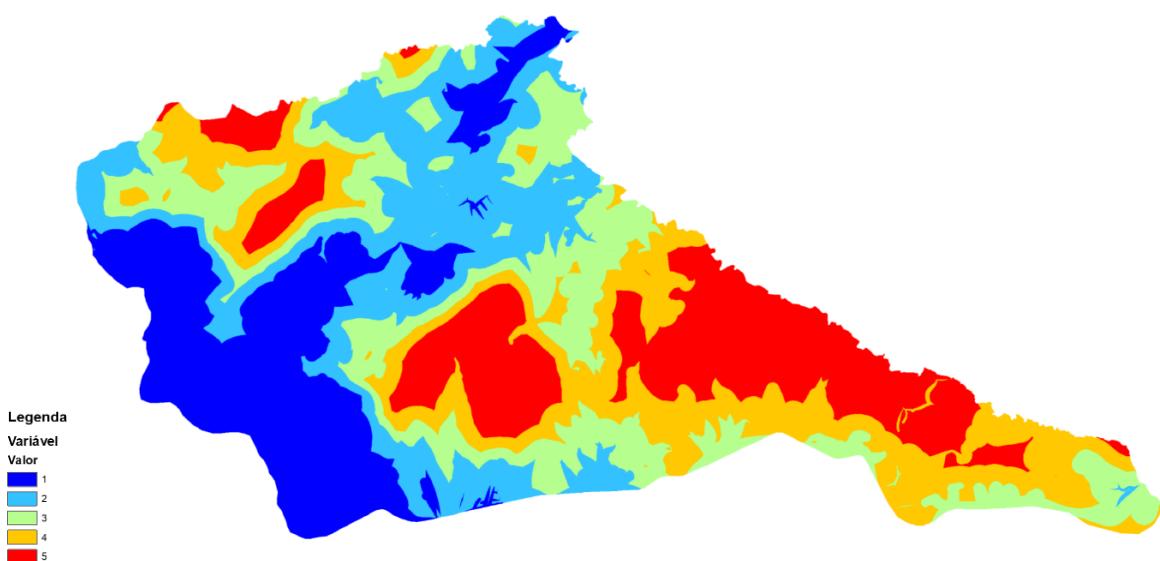


Figura 3.2.2.2.2 – Mapa de distâncias à urbanização.

## ii. Distância das nascentes

O mapa de distância das nascentes, mostrado na Figura 3.2.2.2.3, refere-se a um índice relacionado com o aumento linear de distâncias em relação à localização de cada nascente. Este índice foi organizado em 5 classes conforme a proximidade das nascentes, indicando maior vulnerabilidade nas adjacências desses locais. O uso desse parâmetro na análise multicritério se baseia tanto no entendimento de que as nascentes são locais vulneráveis, como no fato de que elas costumam apresentar alguma divergência de localização (ex. Cunha Tasca, Xavier e Siqueira, 2021), sendo lógico adotar este critério como um fator de pressão sobre os recursos hídricos.

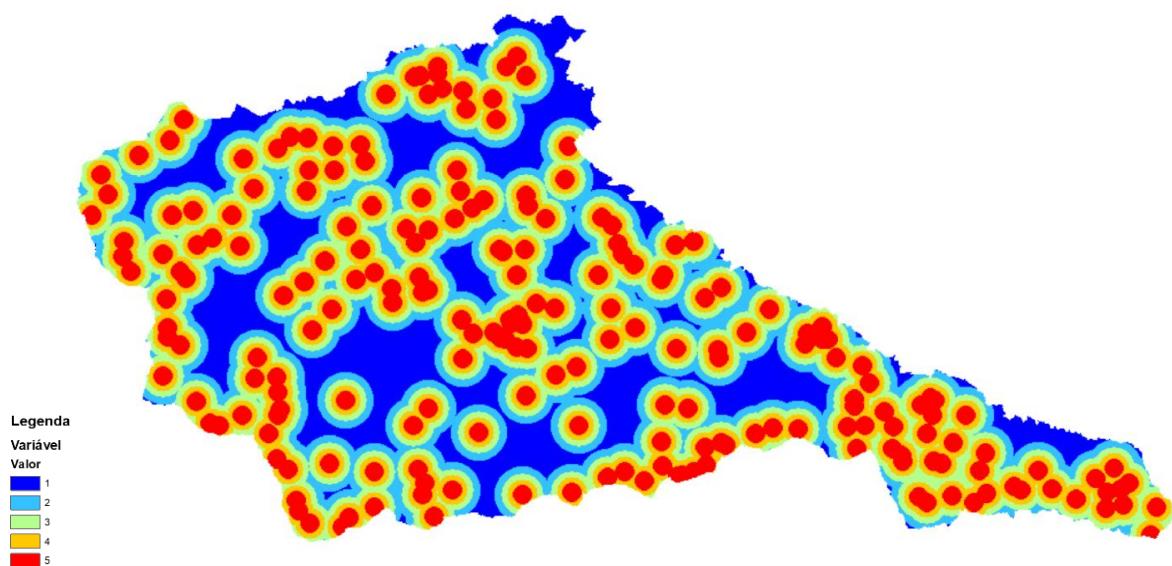


Figura 3.2.2.2.3 - Distância às nascentes.

### iii. Distância aos pontos de captação

Este mapa (Figura 3.2.2.2.4) leva em conta a distância aos pontos de captação de água para o abastecimento público existentes na bacia hidrográfica em estudo como um fator de pressão, relacionado principalmente com a qualidade da água, sendo calculado de acordo com o mapa de fluxo de direções baseado no modelo digital de elevação. As porções da área que se encontram a jusante de ambas as captações foram consideradas com o menor valor. As demais áreas tiveram as distâncias classificadas segundo os quartis.

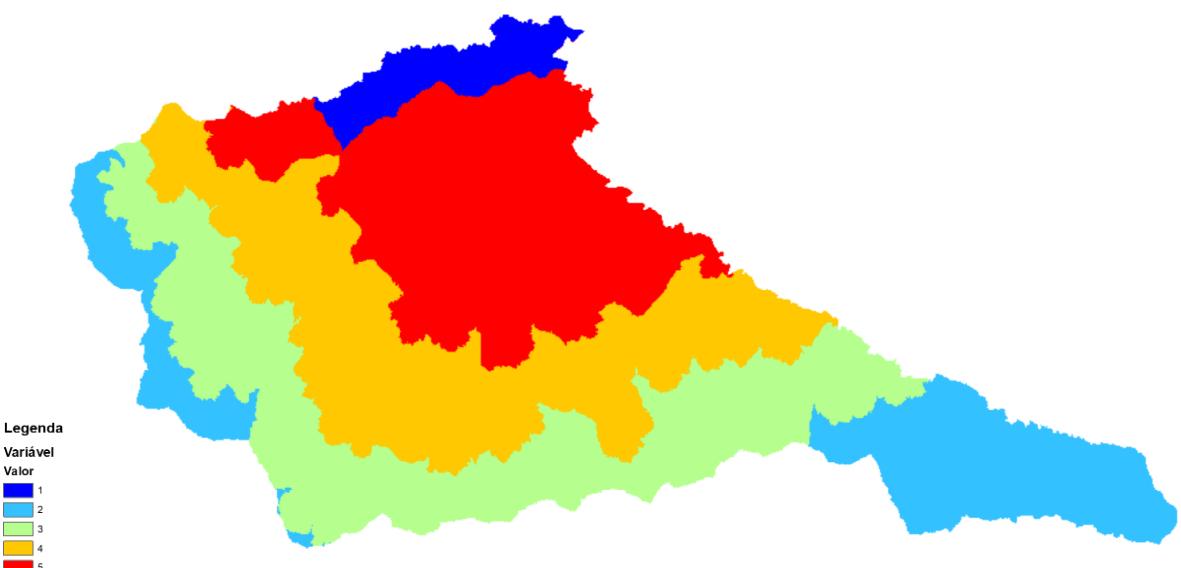


Figura 3.2.2.2.4 - Distância aos pontos de captação.

### 3.2.2.3. Grupo de Fragilidades

O terceiro grupo diz respeito às características da bacia hidrográfica que podem implicar em maior vulnerabilidade na sua situação hídrica, incluindo a pedologia, litologia, declividade e formas do relevo. Nas Figuras 3.2.2.3.1 a 3.2.2.3.4, apresentam-se os mapas temáticos destas variáveis.

#### i. Pedologia

Os tipos de solo estão relacionados diretamente com a suscetibilidade à erosão. Os tipos de solo foram obtidos a partir dos mapas apresentados no relatório 2, e levam em conta os levantamentos realizados por Jimenes-Rueda *et al.* (2011). Segundo o levantamento, foram realizados ajustes no sentido de classificar a fragilidade dos solos, usando como base valores de erodibilidade (fator K), obtidos na literatura para cada tipo de solo. Estes valores também foram ajustados em cinco classes, conforme as demais variáveis.

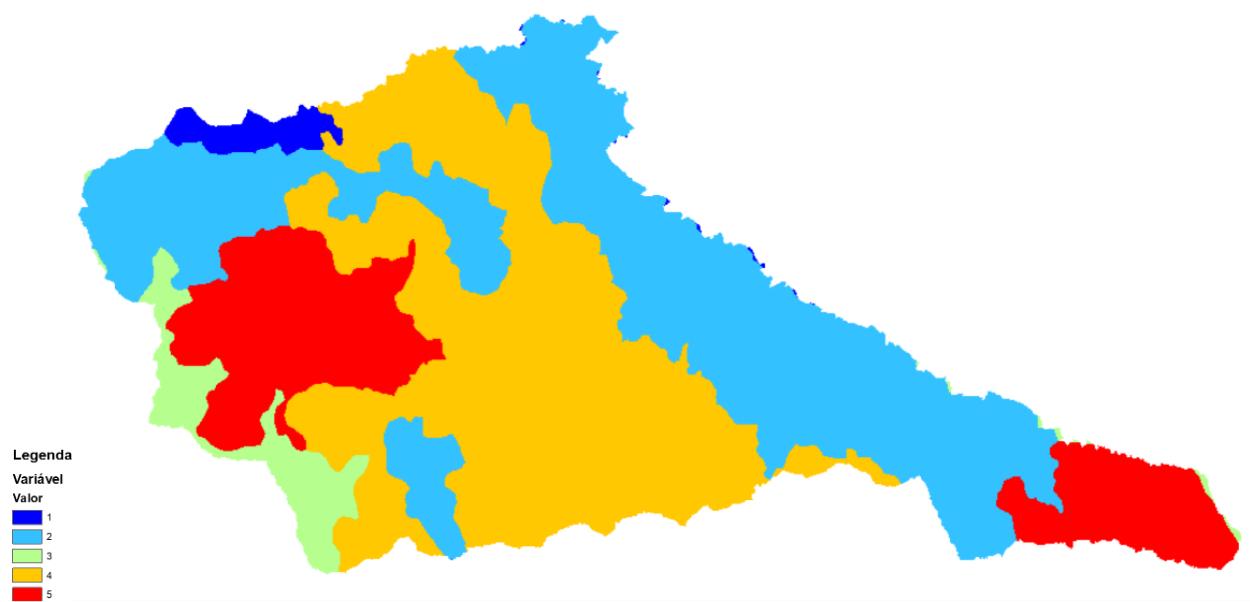


Figura 3.2.2.3.1 – Mapa da variável Solos (em função da erodibilidade).

## ii. Geologia

No caso do mapa geológico apresentado na Figura 3.2.2.3.2, para cada unidade litológica, conforme mapeamento geológico realizado pela CPRM (Perrota *et al.*, 2006), foi associada uma classe de fragilidade, seguindo a proposta de Crepani *et al.* (2001). Por exemplo, no mapa, as áreas com maior fragilidade referem-se aos Depósitos Aluvionares e, aquelas com menor fragilidade consistem nas regiões com afloramentos de Basalto.

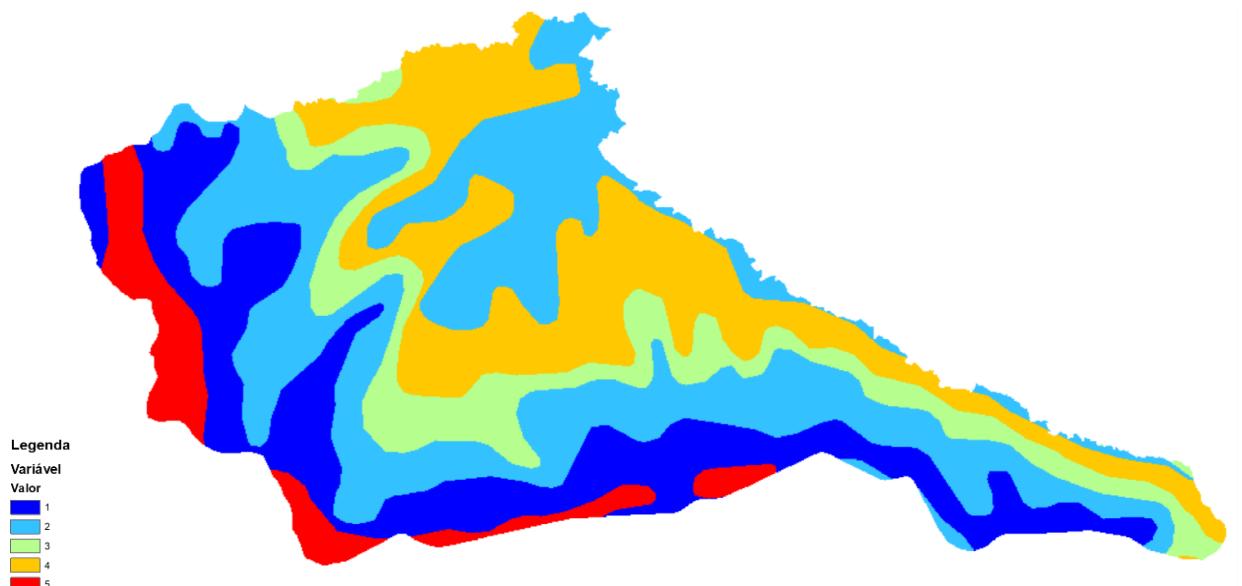


Figura 3.2.3.3.2 – Mapa da variável Geologia.

## iii. Formas de relevo

Já para o caso das formas de relevo, foram geradas a partir de algoritmo descrito por Jasiewicz e Stepiski (2013), baseado nas diferenças de elevação na área circundante de uma célula alvo, um total de 498 fenótipos geomorfológicos únicos são classificados em 10 tipos de relevos comuns. Estas 10 formas foram reclassificadas em 5, resultados que podem, podem ser observadas na Figura 3.2.2.3.3.

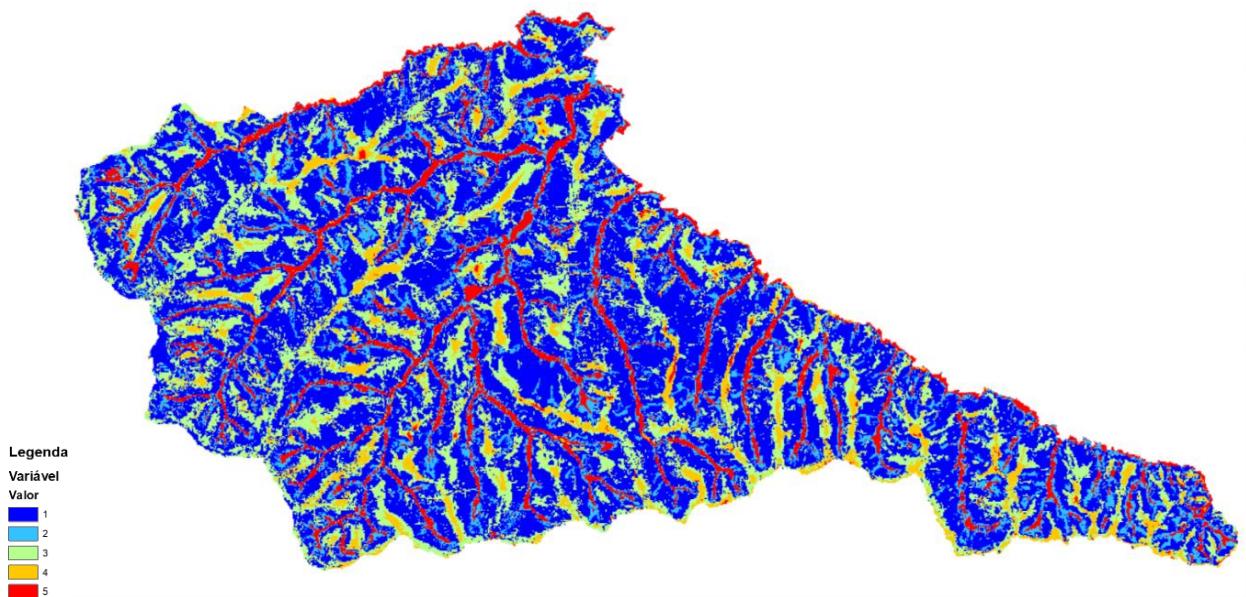


Figura 3.2.2.3.3 – Mapa da variável Formas de Relevo.

#### iv. Declividade

Finalmente, as classes de declividade foram determinadas diretamente sobre o mapa de declividade apresentado no relatório 2, sendo estas divididas em 5 classes conforme os quartis dos dados de entrada.

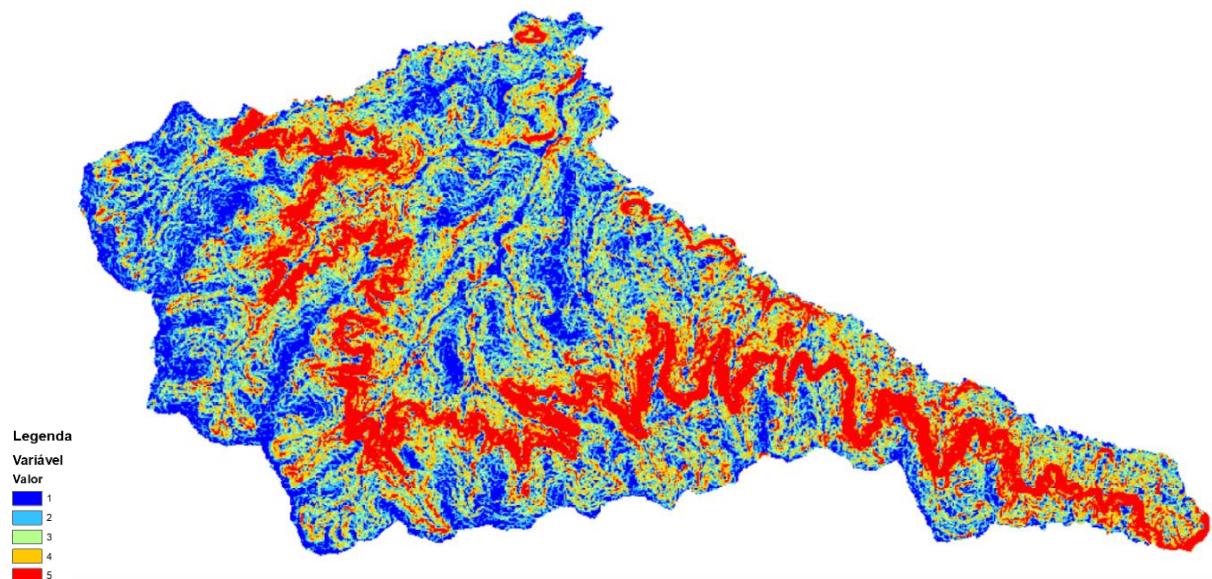


Figura 3.2.2.3.4 – Mapa da variável Declividade.

### 3.2.3. Pesos do modelo

Foram determinados pesos aos grupos de variáveis (primeiro nível hierárquico) de forma independente por cada membro da equipe para posterior consolidação. Foi utilizada, para tal, uma ferramenta online já consolidada e aplicada em diversos estudos (<https://bpmsg.com/ahp/>), que possibilita que cada membro da equipe insira suas percepções acerca da importância relativa das variáveis, além de consolidar o resultado geral com a integração da avaliação de todos os especialistas. O resultado completo dos julgamentos de cada membro, bem como a consolidação dos resultados estão disponibilizados em planilhas eletrônicas por meio do Anexo Digital 3.2.3.1.

Na Figura 3.2.3.1 apresenta-se a consolidação para os valores de pesos de cada grupo de variáveis.



Figura 3.2.3.1 – Peso para os grupos no modelo AHP.

Para cada grupo de variáveis, foram realizados, também por cada membro da equipe de forma independente, os julgamentos referentes às respectivas variáveis (segundo nível hierárquico). Os resultados com os pesos de cada variável para este caso são apresentados na Figura 3.2.3.2.

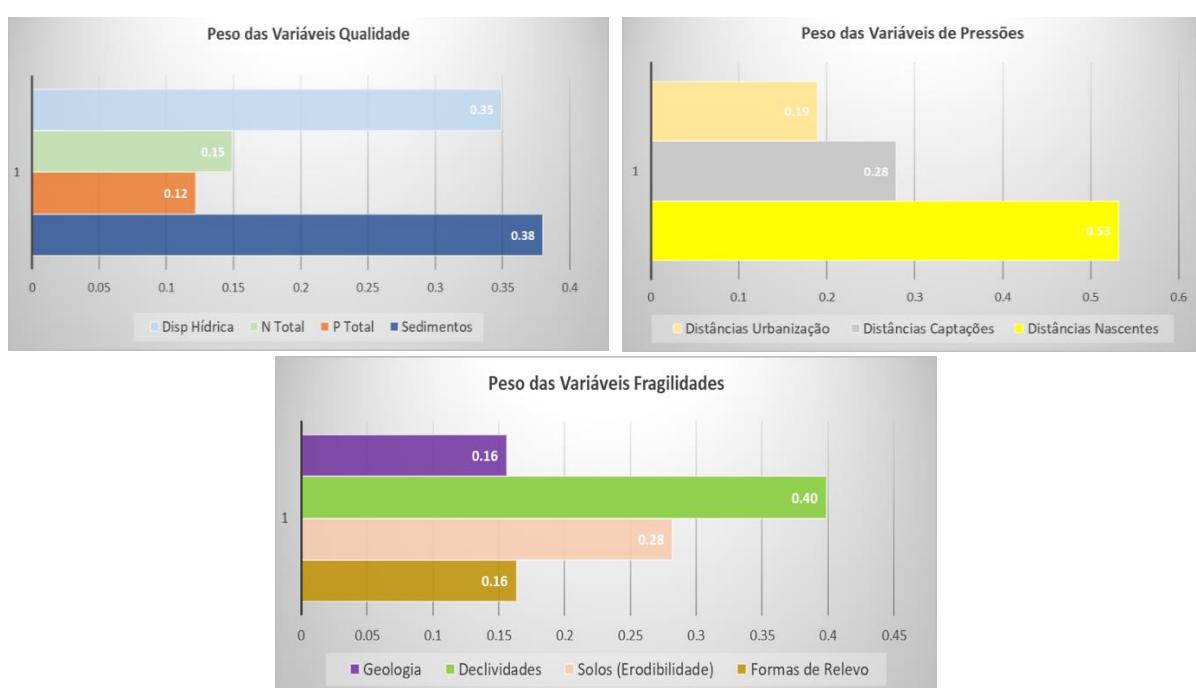


Figura 3.2.3.2 – Peso para as variáveis dos grupos Qualidade, Pressões e Fragilidades.

Sintetizando os resultados das figuras acima, a Tabela 3.2.3.1 apresenta os valores de pesos de cada variável e dos respectivos grupos, bem como os pesos finais do modelo AHP. Para melhor ilustrar a ponderação, a representação gráfica dos pesos do modelo AHP é apresentada na Figura 3.2.3.3.

Tabela 3.2.3.1 – Pesos das variáveis no modelo AHP.

Grupos	Variáveis		Pesos	Pesos Grupo	Pesos Finais
Qualidade	Sedimentos	A	0.380	0.354996	0.135
	P Total	B	0.122		0.043
	N Total	C	0.149		0.053
	Disp Hídrica	D	0.349		0.124
Pressões	Distâncias Nascentes	A	0.532	0.243013	0.129
	Distâncias Captação	B	0.279		0.068
	Distâncias Urbanização	C	0.189		0.046
Fragilidades	Formas de Relevo	A	0.163	0.401991	0.066
	Solos (Erodibilidade)	B	0.282		0.113
	Declividades	C	0.399		0.160
	Geologia	D	0.156		0.063

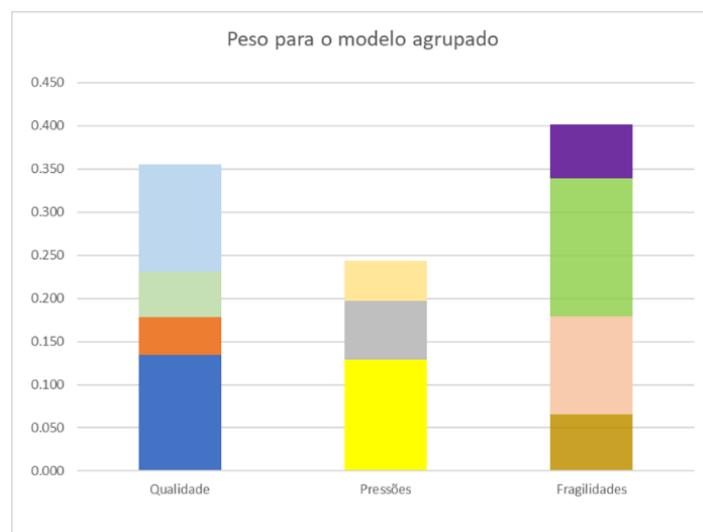


Figura 3.2.3.3 – Pesos do modelo AHP.

### 3.2.4. Mapa do modelo AHP

Com os pesos atribuídos hierarquicamente para cada variável, os dados espacializados foram somados de forma ponderada, resultando em um mapa que sintetiza a suscetibilidade da situação hídrica da AIE Canoas. Este procedimento foi executado em um software de SIG, possibilitando, portanto, a representação do índice de suscetibilidade para toda a área de estudo. O mapa resultante da análise, denominado de 'Mapa de índice de Suscetibilidade' e apresentado na Figura 3.2.4.1, foi utilizado como base para a proposta de zoneamento à AIE Canoas. O mapa em detalhe é apresentado no Anexo 3.2.4.1.

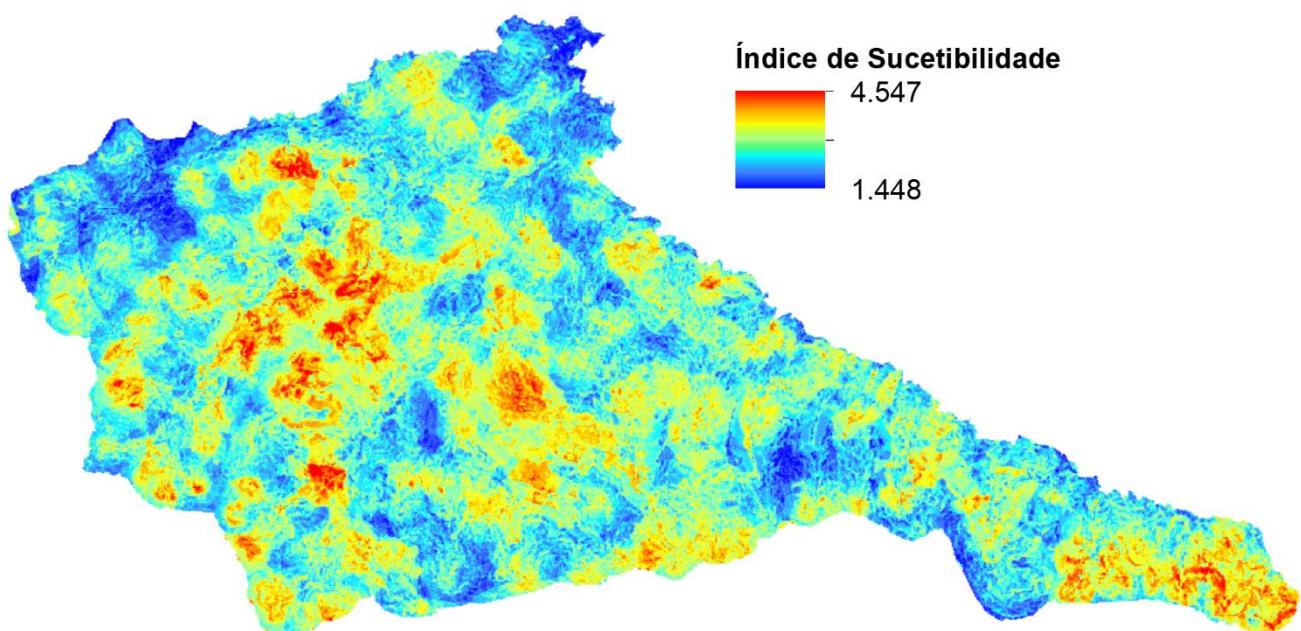


Figura 3.2.4.1 – Mapa de Índice de Suscetibilidade.

Buscando agrupar regiões homogêneas, este mapa foi então reclassificado segundo um fatiamento de classes, resultando no índice composto por 3 classes de suscetibilidade, conforme mostrado na Figura 3.2.4.2.

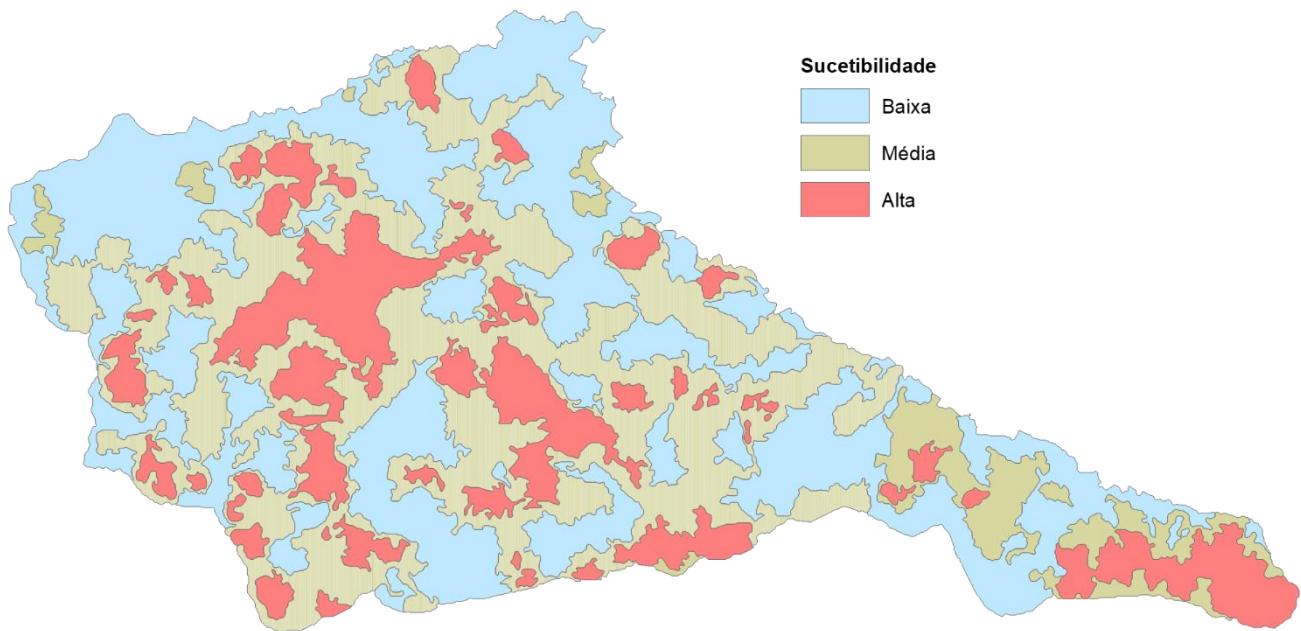


Figura 3.2.4.2 – Mapa Índice de Suscetibilidade classificado.

### 3.3. Prognóstico sobre a ocupação urbana

Com base no que fora verificado no diagnóstico, bem como nas análises sobre os impactos decorrentes de diferentes cenários do uso e ocupação da bacia hidrográfica do Rio Canos,

entendeu-se ser necessário avaliar a influência do crescimento da área impermeabilizada. Para tanto, partiu-se do reconhecimento da importância de assegurar a sustentabilidade da área como condição de manter seu atributo de manancial imprescindível ao abastecimento de água ao município de Franca, além dos princípios de precaução e prevenção. Para esta avaliação, adotou-se uma modelagem para simulação da expansão de áreas urbanizadas segundo alguns critérios, descritos a seguir.

Cabe aqui resgatar do relatório 2 a comparação entre as curvas de crescimento da área urbana na AIE Canoas e a área prevista para expansão urbana no plano diretor municipal, conforme se pode visualizar na Figura 3.3.1. Avaliando-se esta comparação, entendeu-se como plausível para o modelo um limite máximo de percentual o valor de 15%, para um horizonte de crescimento sustentável de longo prazo. Além disso, o modelo partiu da premissa de que a expansão se daria pela dilatação de núcleos pré-existentes, tendo como restrições o Mapa de Índice de Suscetibilidade apresentado acima (Figura 3.2.4.1).

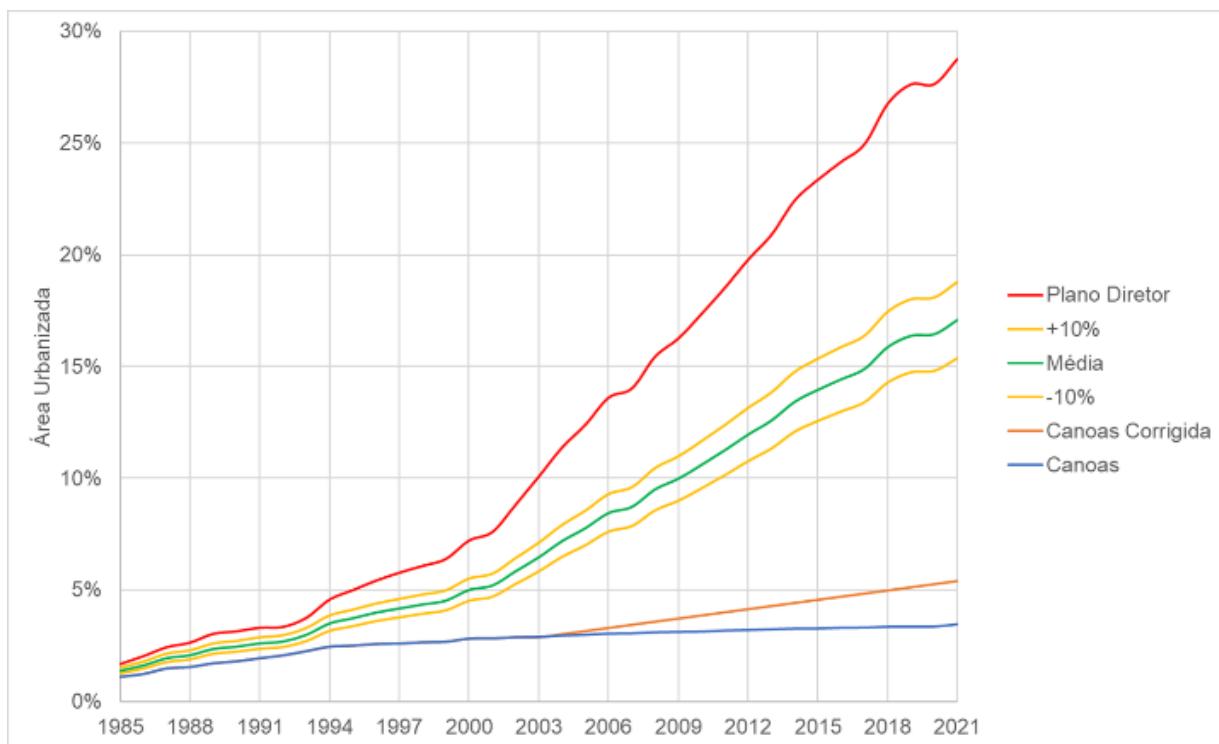


Figura 3.3.1 – Comparativo do crescimento da urbanização na área de contribuição da captação da SABESP no Rio Canoas e na área de expansão urbana prevista no plano diretor e taxa média de urbanização entre as áreas.

A modelagem restringiu-se às sub-bacias 24 e 25, pois houve o entendimento de que toda a parte alta da bacia (que corresponde às áreas de cabeceira do Rio Canoas) teria tratamento diferenciado no zoneamento ambiental em virtude da vital importância para o manancial de abastecimento do Rio Canoas.

O modelo, neste caso, se baseia no Mapa de Índice de Suscetibilidade obtido com a análise multicritério. Esse modelo foi calculado novamente com base na técnica de distância de custo (já detalhada no item 3.2.2.2.1), utilizando as áreas urbanizadas pré-existentes como pontos/vetores de partida e adotando o Índice de Suscetibilidade como fator limitante ao

crescimento, de modo que, quanto maior o valor do índice, maior também a limitação à expansão.

A modelagem foi executada para gerar duas alternativas de expansão: uma com uma dimensão de expansão restrita (modelo 1) e outra com uma dimensão de expansão mais ampliada (modelo 2).

O resultado do modelo de expansão, segundo os critérios e restrições adotados, pode ser visualizado na Figura 3.3.2, que inclui também o comparativo dos percentuais de área impermeabilizada estimados para a bacia. Verifica-se que as restrições impostas pelo Índice de Suscetibilidade restringiram o crescimento simulado, resultando em valor inferior ao limite máximo estabelecido de 15%.

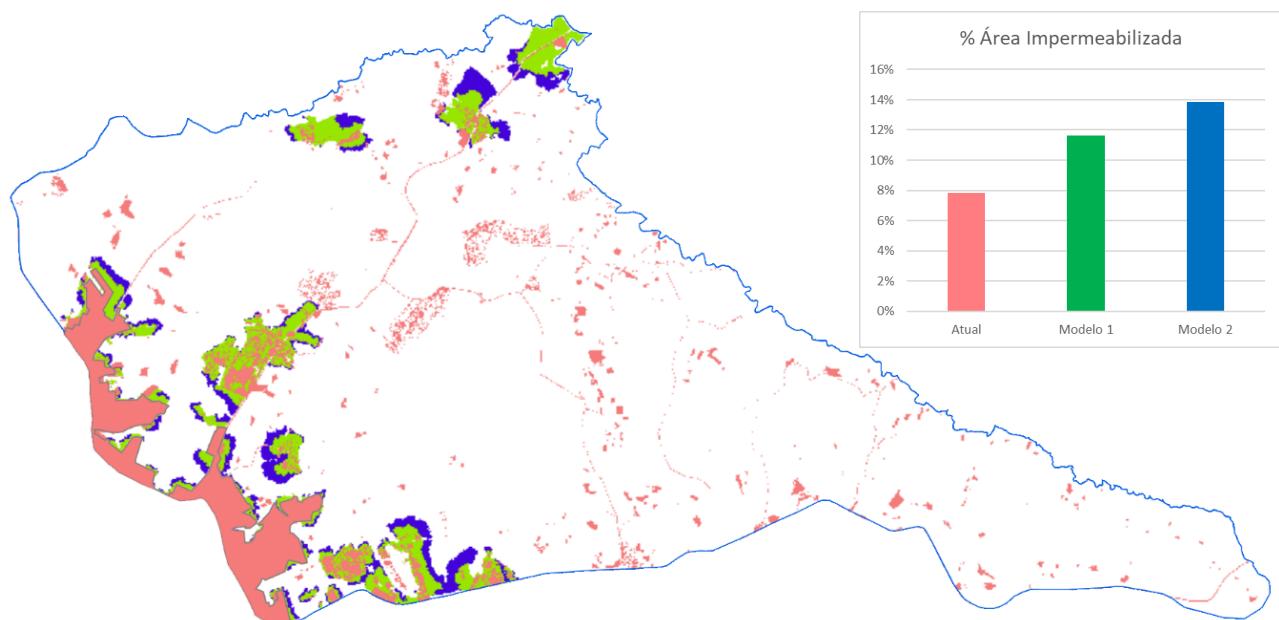


Figura 3.3.2 – Resultado do modelo de expansão.

### 3.3.1. Avaliação dos impactos dos modelos de urbanização

Os cenários criados pelo modelo de expansão foram submetidos à modelagem de sedimentos e nutrientes da plataforma InVEST, a fim de possibilitar a análise dos impactos das alterações propostas. As Figuras 3.3.1.1 a 3.3.1.4 mostram os resultados obtidos para as sub-bacias 24 e 25, bem como para o subgrupo de bacias da sub-bacia 24, que já foram apresentados anteriormente nas avaliações de cenários.



Figura 3.3.1.1 – Comparações das taxas de produção e exportação de sedimentos nas sub-bacias 24 e 25.

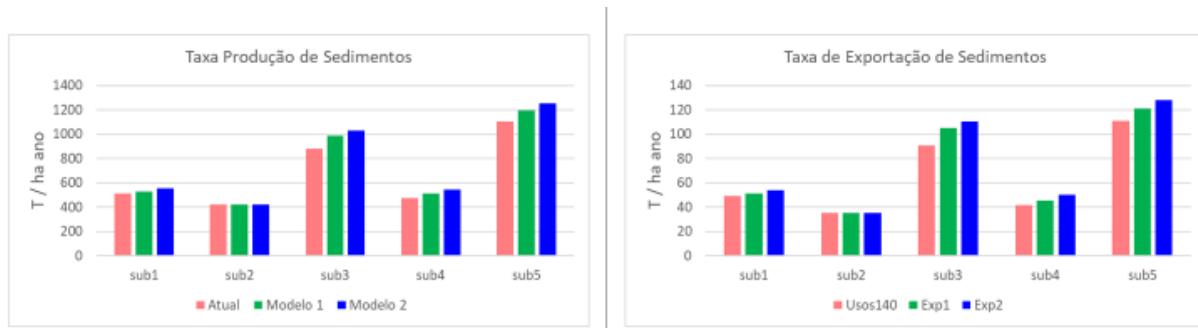


Figura 3.3.1.2 – Comparações das taxas de produção e exportação de sedimentos nos subgrupos de bacias da sub-bacia 24.

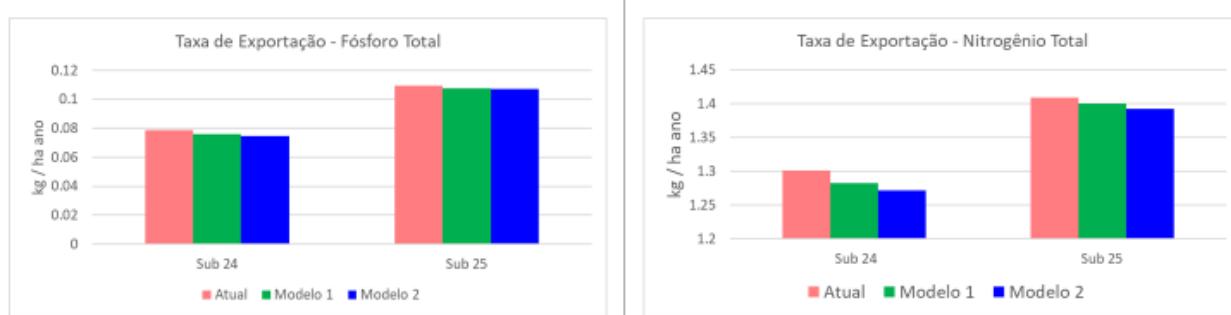


Figura 3.3.1.3 – Comparações das taxas de exportação de nutrientes nas sub-bacias 24 e 25.

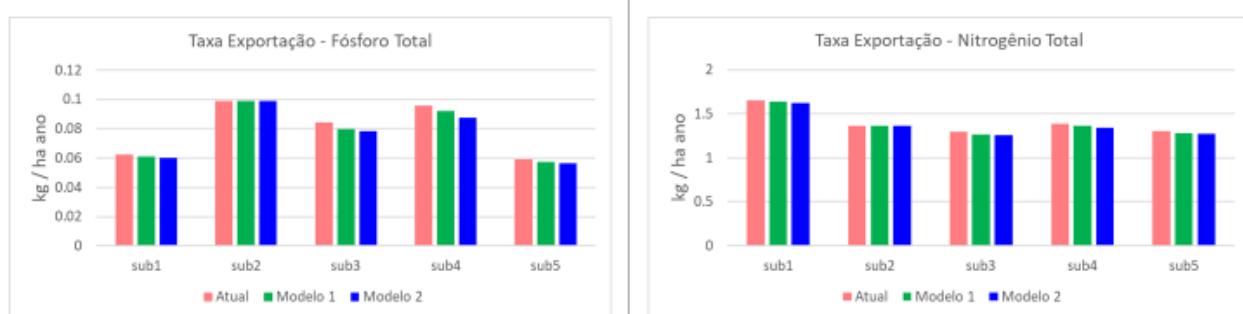


Figura 3.3.1.4 – Comparações das taxas de exportação de nutrientes nos subgrupos de bacias da sub-bacia 24.

Pela análise comparativa dos resultados das simulações realizadas no prognóstico, notam-se a intensificação das taxas de produção e exportação de sedimentos, bem como a redução das taxas de exportação de nutrientes. Tais tendências são decorrentes do aumento das áreas urbanizadas e redução das atividades agrícolas, tendências que corroboram com os resultados obtidos na modelagem da qualidade hídrica (tópico 2.4). Isto indica a possibilidade de alteração do padrão de usos com uma pequena margem do crescimento da impermeabilização, desde que combinadas com medidas de recuperação da vegetação das matas ciliares, implementação de técnicas compensatórias para drenagem urbana, condicionada à implantação de infraestruturas e procedimentos adequados de saneamento ambiental, além de outras práticas que viabilizem a expansão ambientalmente sustentável.

#### 4. Construção da Proposta de Zoneamento Ambiental

O termo de referência, que estabelece o objeto do presente projeto, elenca a Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997, que dispõe sobre as diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo, como instrumento para balizar tanto as diretrizes de ordenamento territorial como o zoneamento ambiental. Essa lei determina que, para a aplicação dos dispositivos de proteção, recuperação e preservação dos mananciais e para a implementação de políticas públicas, deverão ser criadas as seguintes **Áreas de Intervenção (AIs)**:

- **Áreas de Restrição à Ocupação (ARO):** aquelas de interesse para a proteção dos mananciais e para a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais;
- **Áreas de Recuperação Ambiental (ARA):** aquelas cujos usos e ocupações estejam comprometendo a fluidez, potabilidade, quantidade e qualidade dos mananciais de abastecimento público e que necessitem de intervenção de caráter corretivo; e
- **Áreas de Ocupação Dirigida (AOD):** aquelas de interesse para a consolidação ou implementação de usos rurais e urbanos, desde que atendidos os requisitos que garantam a manutenção das condições ambientais necessárias à produção de água em quantidade e qualidade para o abastecimento das populações atuais e futuras.

A construção da proposta de zoneamento ambiental para a AIE Canoas se deu em três etapas:

- **1<sup>a</sup> etapa:** macrodivisão inicial baseada nas características das sub-bacias envolvidas e sua relação com os mananciais de abastecimento do Rio Canoas e do Rio Pouso Alegre; e
- **2<sup>a</sup> etapa:** separação de todas as áreas com restrições de uso, sejam por restrições legais ou pelo entendimento que assim devam ser classificadas, de modo que passem a integrar a AI ARO. Esta etapa se dá pela sobreposição de camadas. Estão incluídas nesta etapa a sobreposição das camadas de áreas que deverão ser objeto de recuperação ambiental para integrarem a AI ARA, além da área urbana consolidada, pertencente ao perímetro urbano do município de Franca, que será integrada a uma subclassificação da AI AOD.
- **3<sup>a</sup> Etapa:** classificação das áreas remanescentes que integrarão a AI AOD, com diretrizes próprias para cada uma delas.

Na Figura 4.1 apresenta-se a macrodivisão inicial para o zoneamento ambiental. Nesta divisão, a Área 1 representa a parte alta da bacia e corresponde às nascentes do Rio Canoas. Foi identificado nessa área um avançado processo erosivo que precisa ser recuperado, de modo que toda esta área requer atenção especial quanto à preservação ambiental. A Área 2 diz respeito à área da sub-bacia do Ribeirão do Lajeado / Onça (sub-bacia 24), que é um importante afluente do Rio Canoas e cuja foz está a apenas a alguns metros à montante da captação da SABESP no Rio Canoas, sendo um importante contribuinte para as vazões de captação. Nesta área, concentra-se o maior número de núcleos urbanizados da AIE Canoas. A Área 3 corresponde às áreas da AIE Canoas que

estão à jusante das captações da SABESP, de modo que seus fluxos não contribuem diretamente aos mananciais de abastecimento. E, finalmente, a Área 4 que abrange a área de contribuição à captação no Rio Pouso Alegre.

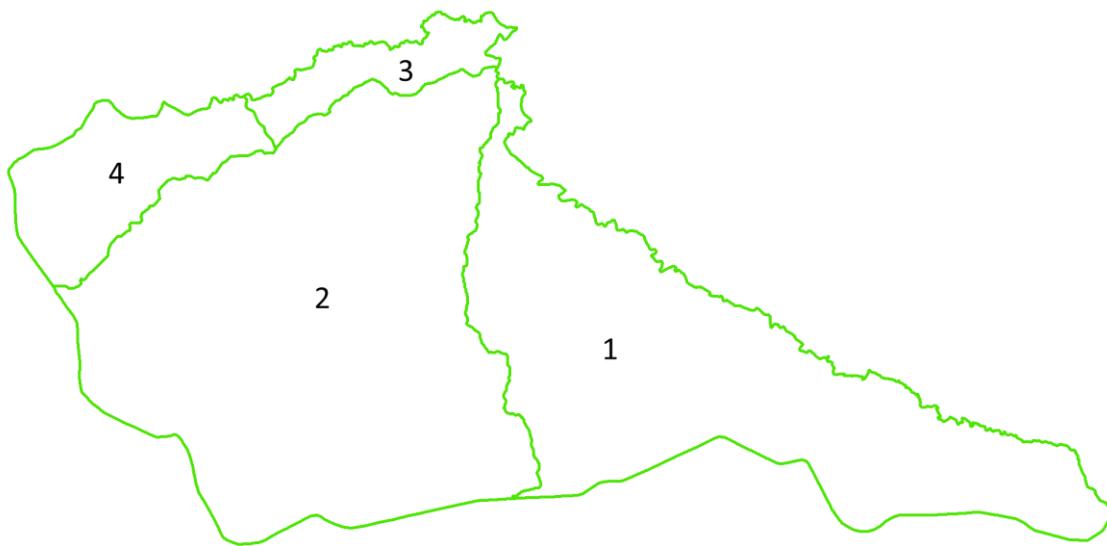


Figura 4.1 – Macrodivisão inicial para o zoneamento ambiental.

Durante o processo de sobreposição de camadas da segunda etapa, foi adotada a seguinte sequência, com a separação de diferentes classes e subclasses de Áreas de Intervenção:

- i. **ARO Faixa de Cuestas:** corresponde à faixa de 200 metros que segue a linha de cuesta ao longo da bacia com altos valores de declividade;
- ii. **ARA Aterros:** corresponde às áreas onde se encontram os aterros ativos e os desativados e que necessitam de recuperação ambiental e acompanhamento;
- iii. **ARA ETEs:** corresponde às áreas onde estão localizadas as ETEs (lagoas) que estão previstas para serem descomissionadas, cujas áreas terão que ser recuperadas;
- iv. **AOD Área Urbana Consolidada:** corresponde à área urbana consolidada pertencente ao perímetro urbano do município de Franca;
- v. **ARO Zona de Amortecimento:** corresponde as áreas de APP que excedem os valores da APP de 30 metros prevista no código florestal até a distância de 50 metros conforme consta do código de meio ambiente do município de Franca;
- vi. **ARO APP:** corresponde às áreas de APP definidas segundo o Código Florestal;
- vii. **ARO Remanescentes Florestais:** correspondem às áreas de remanescentes florestais de acordo com o mapeamento realizado pelo Instituto Florestal SP (2021) e atualizado pelo mapa de usos apresentado no relatório 2; e
- viii. **ARA Incongruências de usos:** correspondem aos conflitos de usos identificados ao longo das áreas de APP e que deverão ter prioridade de recuperação ambiental.

Esta etapa de sobreposição de camadas pode ser visualizada na sequência de ilustrações apresentadas na Figura 4.2.

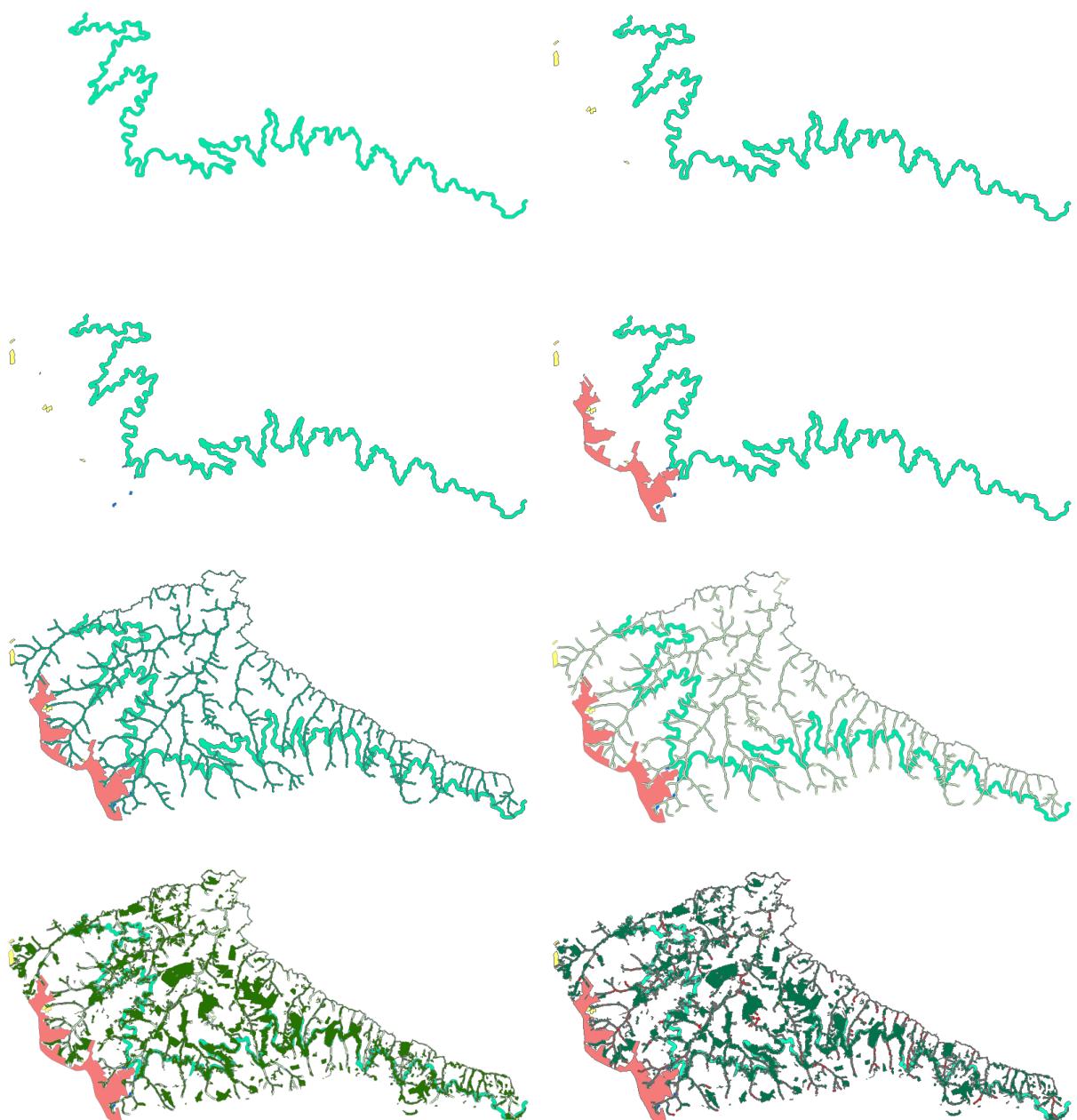


Figura 4.2 – Etapa de sobreposição de camadas.

As demais áreas da bacia que não integram as Als mencionadas acima são compreendidas como Áreas de Ocupação Dirigida (AI-AOD). Nesse sentido, tomando como base o diagnóstico elaborado, a análise multicritério (Índice de Suscetibilidade) e as simulações realizadas, respeitando-se também os limites estipulados, conforme indicado nas Sessões 3.2 e 3.3, foram criadas três categorias de AI-AOD de uso restrito, chamadas de áreas de Baixa Densidade Nível 1, 2 e 3 (AI-AOD BD1, BD2 e BD3), e também duas categorias de AI AOD para a área urbana sustentável (AUS). Todas essas áreas são descritas em detalhes na sessão 4.3 - Proposta de Zoneamento Ambiental.

Em relação à proposta para área urbana sustentável AOD-AUS, está sendo recomendada a sua implementação em horizontes de tempo distintos: inicialmente, sugere-se que a AUS seja limitada a categoria 1 (AUS Fase 1), podendo esta passar ou não à categoria 2 (AUS Fase 2), dependendo da resposta da bacia à nova dinâmica proposta, isto é, se a expansão não representar efeitos nocivos aos mananciais e se houver avanços positivos significativos nos indicadores de qualidade ambiental e hídrica da bacia como um todo. Aqui, a ideia de área urbana sustentável tem o objetivo de concentrar a população em uma área menor, o que resulta em economia de infraestrutura urbana, facilidade de gestão, menores deslocamentos etc. Por outro lado, este tipo de ação tende a promover uma maior impermeabilização do solo, o que exige que ações mitigatórias, como a utilização de técnicas compensatórias de drenagem urbana, sejam implementadas.

Vale ressaltar que a definição destas áreas foi orientada pelos modelos simulados e de acordo com o índice de suscetibilidade, de forma a minimizar subjetividades e considerando, principalmente, a questão de reversão do esgotamento sanitário das áreas mais próximas ao perímetro urbano já consolidado, em um balanço entre preservação e viabilidade econômica.

Na Figura 4.3 visualiza-se as áreas AI AOD AUS Fase 1 e 2. Maiores detalhes sobre as áreas podem ainda ser encontrados na Sessão 4.2.

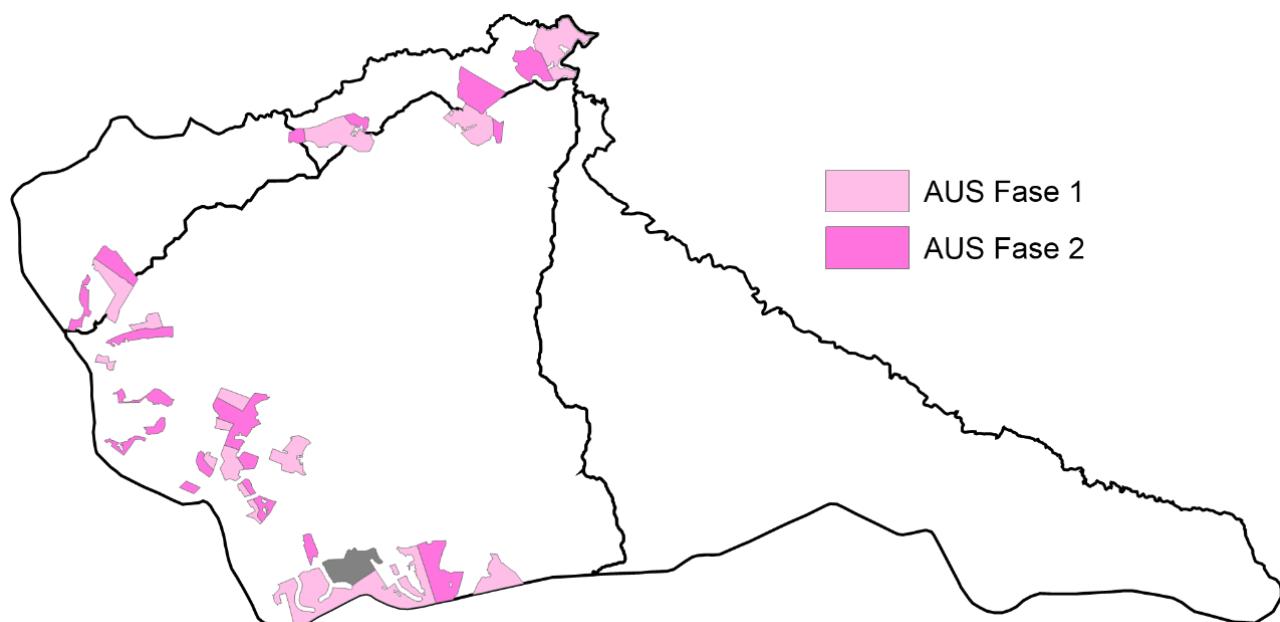


Figura 4.3 – Áreas AOD de Adensamento Urbano Sustentável Fases 1 e 2.

As áreas que não compreendidas nas Figuras 4.2 e 4.3, acima, se referem AI AOD de Baixa Densidade 1, 2 e 3, conforme mencionado anteriormente, que podem ser visualizadas na Figura 4.4.

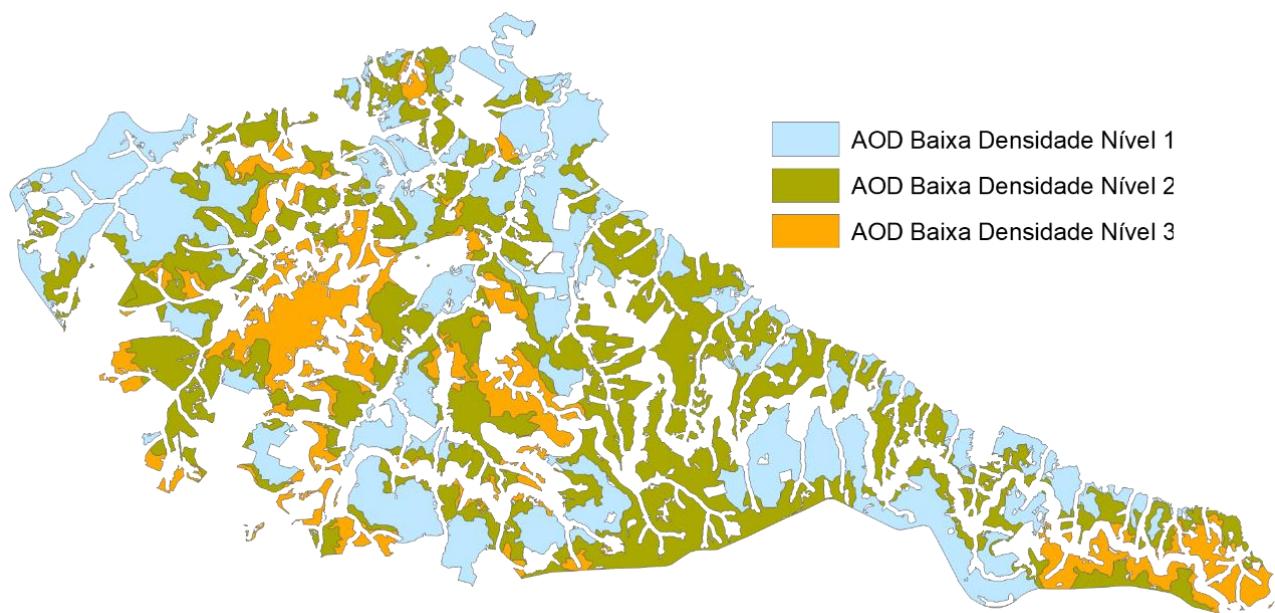


Figura 4.4 – Áreas AOD de Baixa Densidade Níveis 1, 2 e 3.

#### 4.1. Avaliação dos Impactos da Proposta de Zoneamento Ambiental

Para a avaliação dos impactos desta proposta de zoneamento ambiental, foram criados 4 cenários de alteração do padrão de usos, com as áreas urbanas sustentáveis fase 1 e 2 (detalhadas anteriormente), e utilizando-se taxas de impermeabilização de 60 ou 70%. A representação desses cenários pode ser visualizada na Figura 4.1.1. Destaca-se que essas alterações levam em conta apenas modificações no uso urbano, os demais permanecem inalterados, acompanhando o uso identificado no Relatório 2 – Diagnóstico.

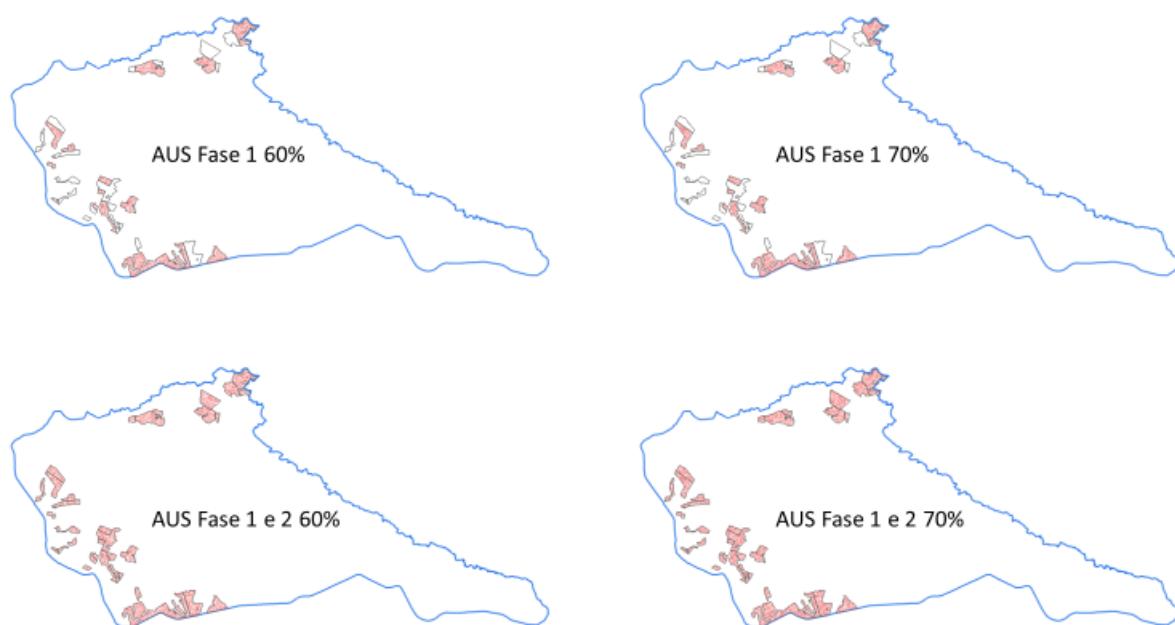


Figura 4.1.1 - Alternativas de alteração do padrão de usos segundo a proposta de zoneamento.

Procurou-se averiguar, inicialmente, o impacto em termos percentuais no aumento de área impermeabilizada para cada alternativa, a fim de verificar se estariam de acordo com os

limites estabelecidos no modelo. Nas Figuras 4.1.2 e 4.1.3 pode-se visualizar graficamente os resultados desta comparação.

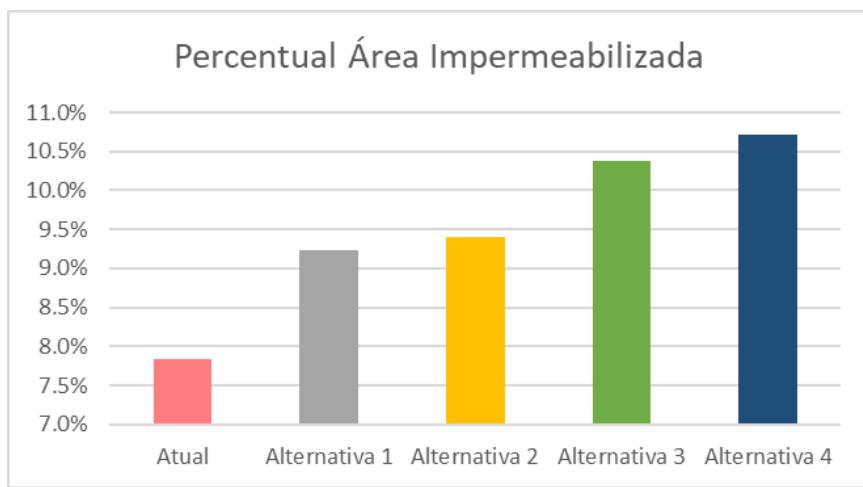


Figura 4.1.2 – Percentual de área impermeabilizada de cada alternativa.

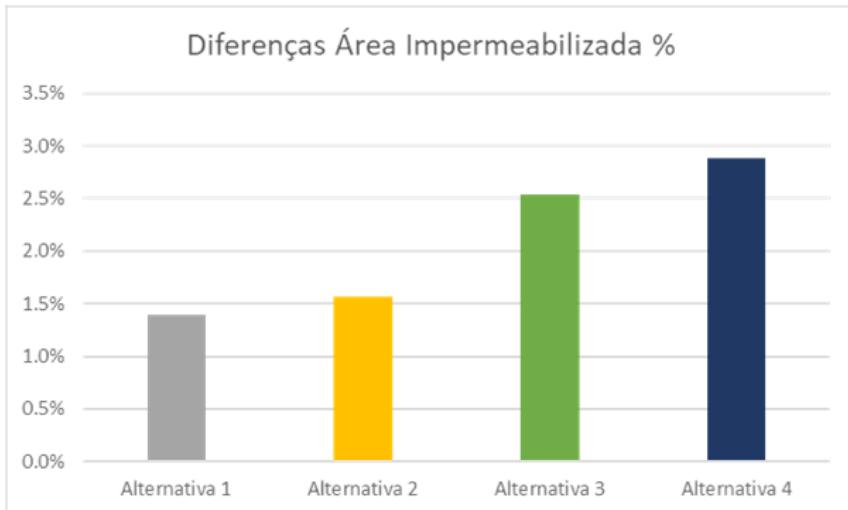


Figura 4.1.3 – Diferenças em percentual de área impermeabilizada de cada alternativa em relação a situação atual.

Para as avaliações do impacto relacionado ao sedimento, nutrientes e escoamento superficial foi acrescentado uma alternativa que diz respeito ao padrão de usos da alternativa 4, acrescido da recomposição das áreas de APP com incongruências. Os resultados destas avaliações podem ser visualizados graficamente nas Figuras 4.1.4 a 4.1.12.

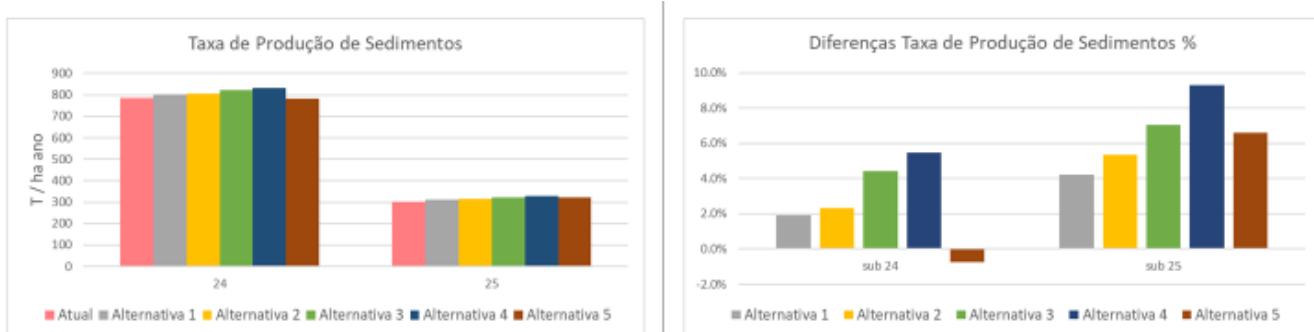


Figura 4.1.4 – Impacto nas taxas de produção de sedimentos nas sub-bacias 24 e 25

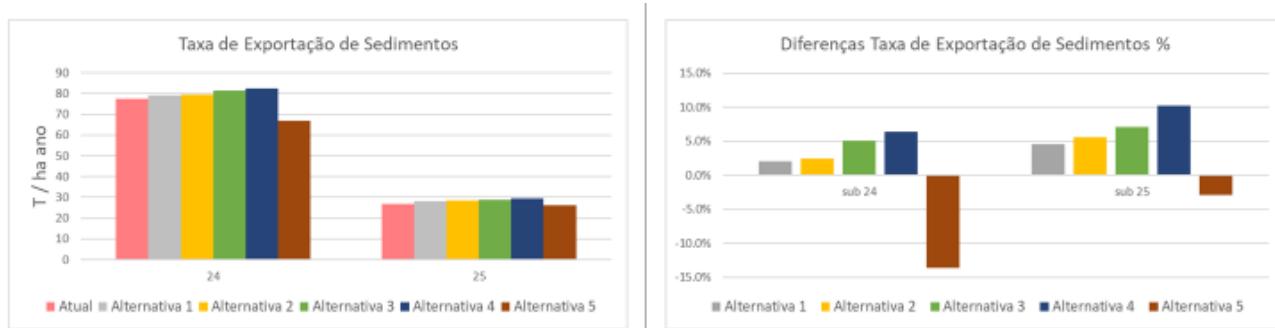


Figura 4.1.5 – Impacto nas taxas de exportação de sedimentos nas sub-bacias 24 e 25

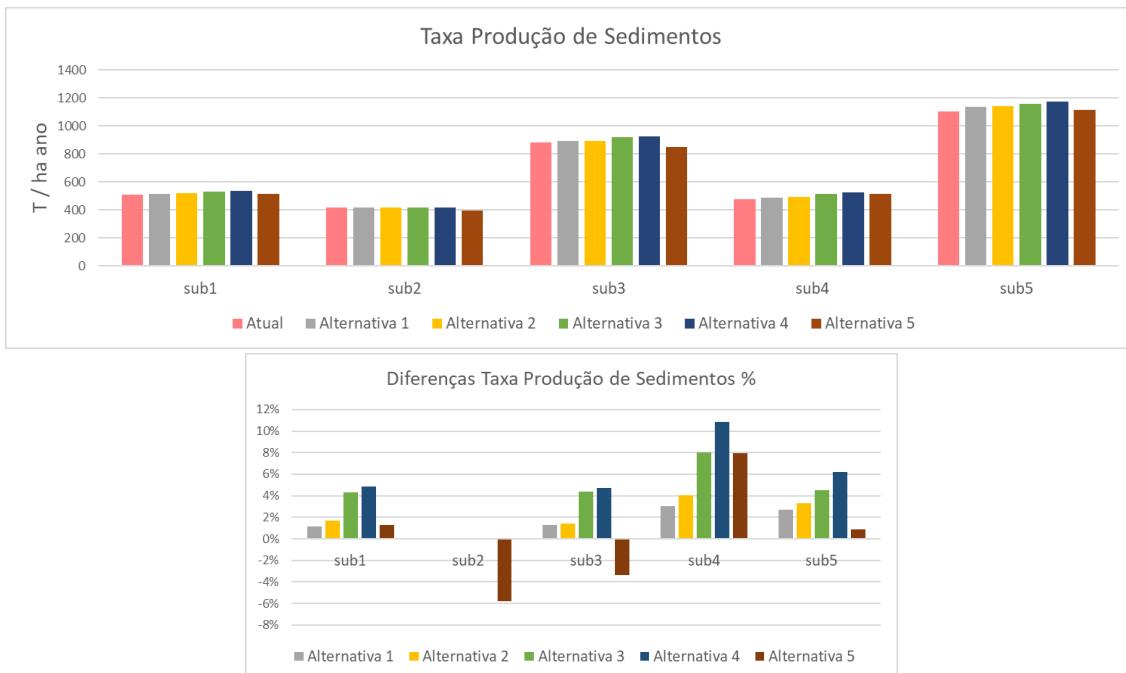


Figura 4.1.6 – Impacto nas taxas de produção de sedimentos nas sub-bacias da sub-bacia 24

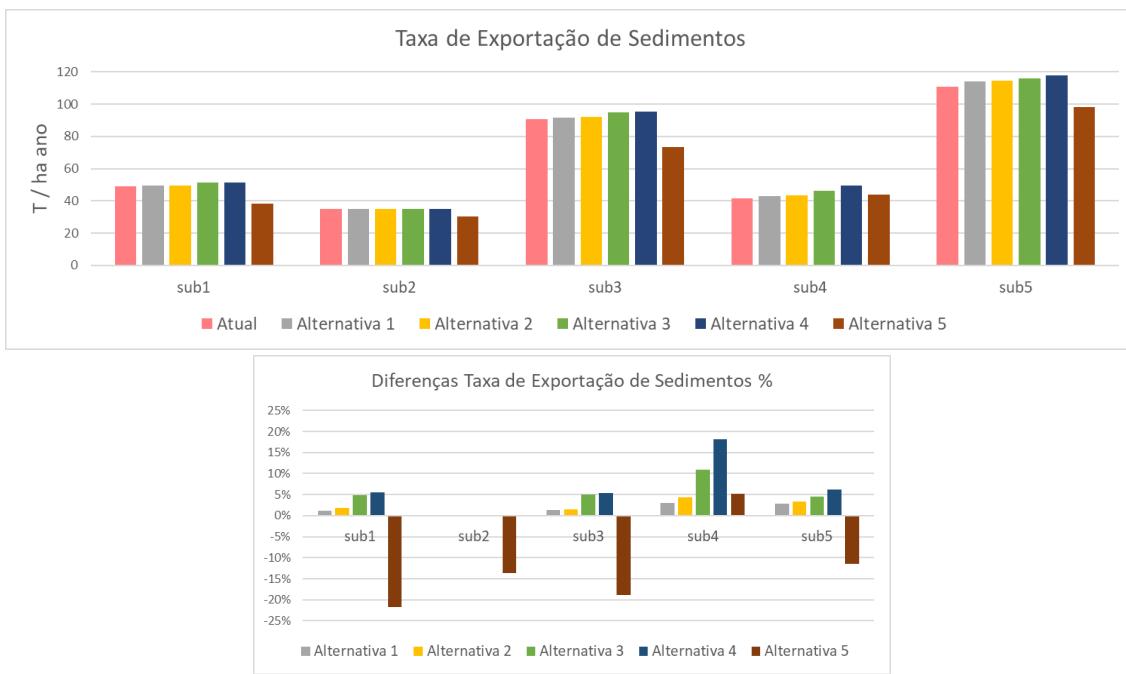


Figura 4.1.7 – Impacto nas taxas de exportação de sedimentos nas sub-bacias da sub-bacia 24

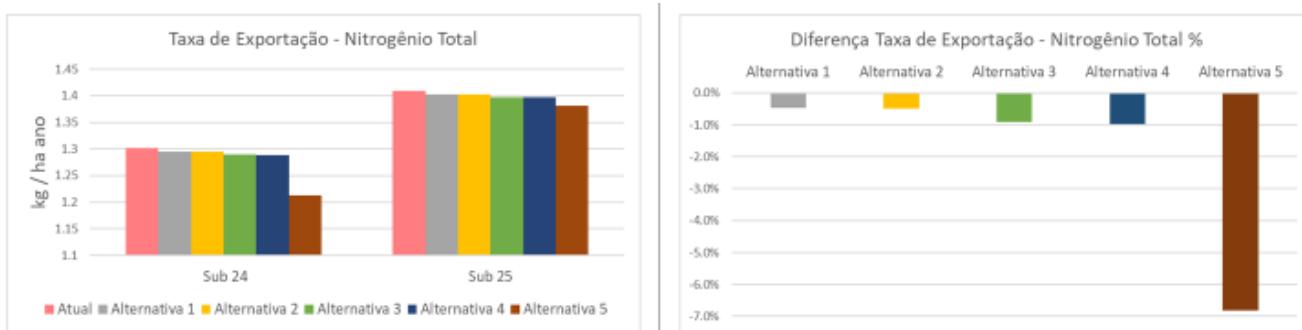


Figura 4.1.8 – Impacto nas taxas de exportação de N Total nas sub-bacias 24 e 25

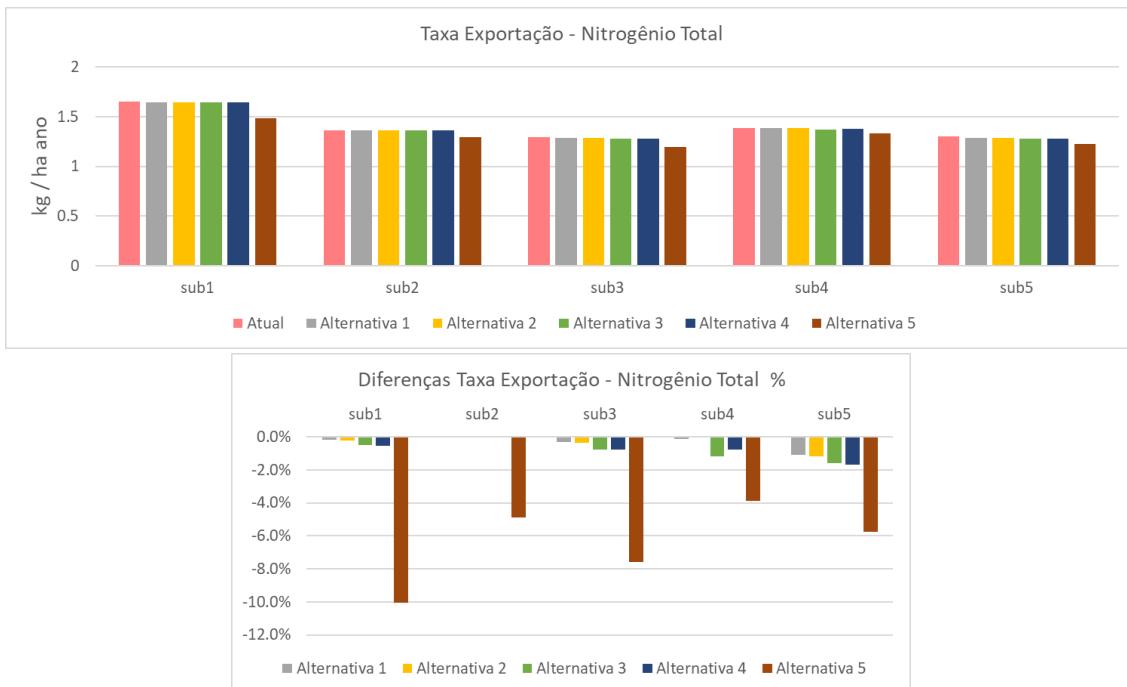


Figura 4.1.9 – Impacto nas taxas de exportação de N Total nas sub-bacias da sub-bacia 24

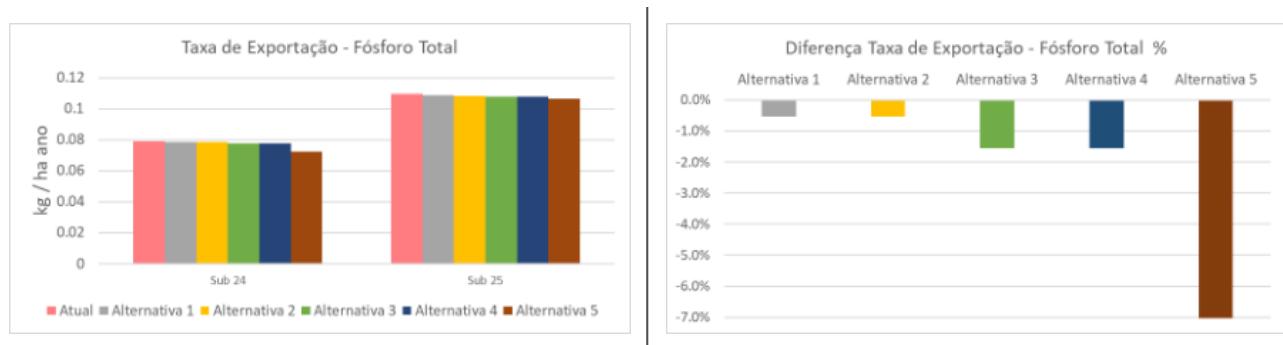


Figura 4.1.10 – Impacto nas taxas de exportação de P Total nas sub-bacias 24 e 25

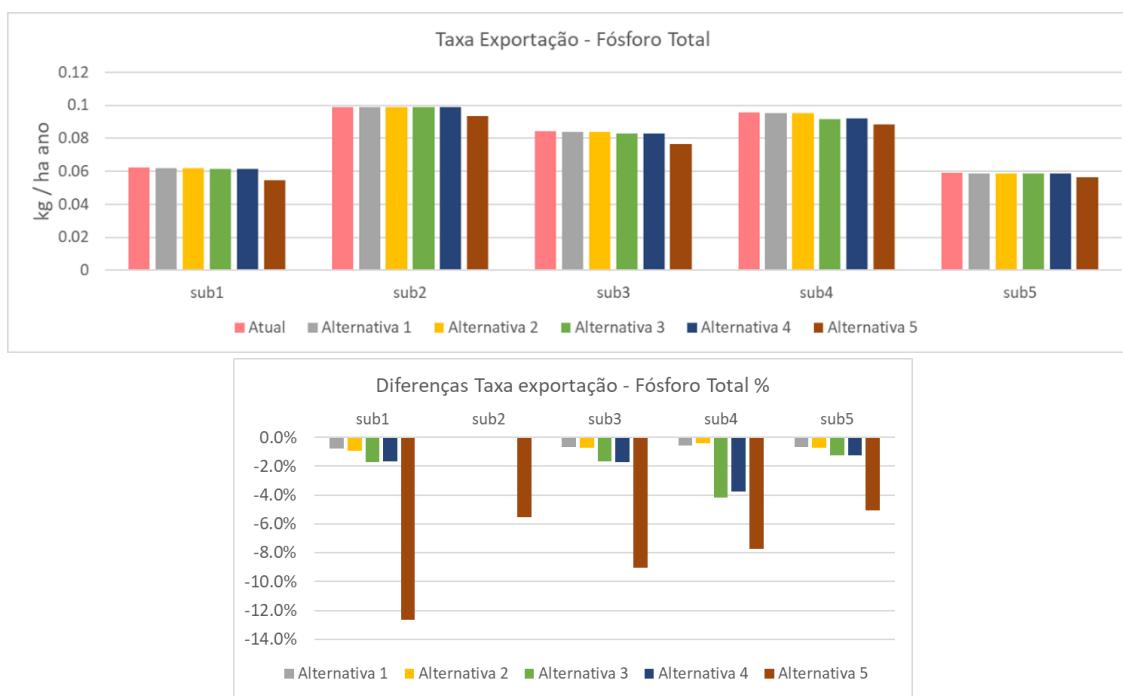


Figura 4.1.11 – Impacto nas taxas de exportação de P Total nas sub-bacias da sub-bacia 24

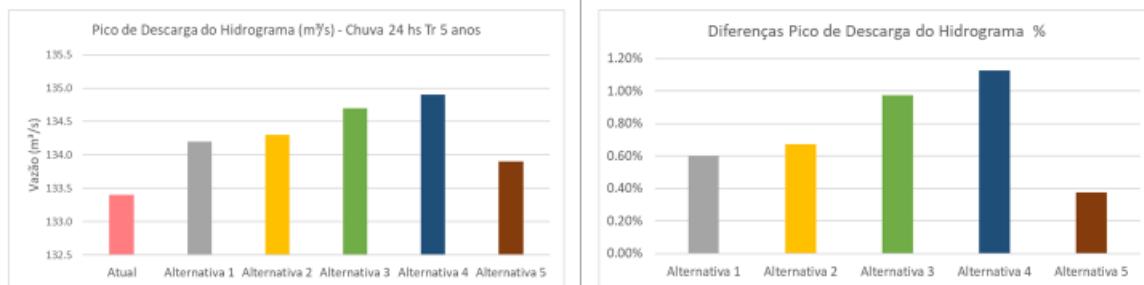


Figura 4.1.12 – Impacto nos picos de descarga do hidrograma nas sub-bacias 24 e 25

A partir da análise dessas avaliações, verifica-se que os impactos ficaram dentro das margens esperadas, e até mesmo abaixo, após os estudos dos modelos. A maior diferença percentual ficou na casa de 10% de acréscimo nas taxas de exportação de sedimentos (que corresponde efetivamente ao que é carreado para o corpo hídrico) para a sub-bacia 25. Analisando individualmente a sub-bacia 24, o maior percentual ficou com a taxa de exportação de sedimento para a sub-bacia 4, na alternativa 4, ficando pouco acima de 15%.

Os impactos relacionados aos nutrientes e escoamento superficial não foram significativos.

A alternativa 5 demonstra a importância de fazer a recomposição das APP, tendo em vista a considerável minimização ou, até mesmo, reversão do impacto causado pelo adensamento urbano sustentável, ainda que nas condições previstas na alternativa 4, que é a alternativa mais flexível. Destaca-se ainda, que serão propostas, nas diretrizes a seguir, medidas mitigatórias e práticas sustentáveis que buscam minimizar os possíveis impactos decorrentes da proposta de zoneamento.

## 4.2. Proposta de Zoneamento Ambiental

Após os estudos realizados, considerando-se o diagnóstico levantado anteriormente e as simulações de prognósticos, chegou-se a uma proposta de Zoneamento Ambiental para a AIE Canoas. Ressalta-se que tal proposta considera não só a dinâmica espacial de ocupação, mas também sua associação com a dinâmica espacial, sempre tendo como prioridade a conservação da qualidade e da quantidade dos recursos hídricos deste manancial e a promoção dos fatores e processos que garantam a sua sustentabilidade.

Inicialmente, é preciso discorrer sobre os limites da AIE Canoas que, no contexto de um programa de gestão integrada de bacia hidrográfica, entende-se não ser possível desconsiderar qualquer área dentro dos limites físicos da bacia hidrográfica, mesmo que estes estejam ocupados por áreas urbanas consolidadas. Neste ponto, considera-se que os limites preconizados pela Lei Municipal nº 4240/92 devem ser revisados, passando a incluir toda a área da bacia. Assim, o zoneamento proposto incluirá estas áreas.

A proposta de zoneamento considera as áreas de intervenções (ARO, ARA e AOD) previstas na Lei Estadual nº 9.866/97, com algumas subdivisões para cada uma das AI, a exemplo do que ocorre em diferentes Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRMs) e Planos de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPAs).

As subdivisões do zoneamento ambiental proposto estão discriminadas e detalhadas na Tabela 4.2.1. Já as Figuras 4.2.1 e 4.2.2 apresentam o esboço da proposta de zoneamento ambiental. Os mapas em escala 1:10.000 articulados segundo as folhas do mapeamento 1:10.000 do IGC SP, com a proposta de zoneamento são apresentados no Anexo 4.2.1.

Tabela 4.2.1 – Áreas de Intervenções para o Zoneamento Ambiental da AIE Canoas

Definição das áreas de Intervenção	Características	Subgrupos
<b>Áreas de Restrição à Ocupação (ARO)</b>	Áreas de especial interesse para a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais, visando à proteção dos mananciais.	<p>Divididas em:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>Faixa de Cuestas (FC):</b> referem-se as áreas que contornam as linhas de maior declividade, formadas em boa parte por encostas escarpadas.</li> <li><b>Áreas de Proteção Permanente (APP):</b> Áreas de Proteção Permanente no entorno dos cursos/corpos d'água e nascentes.</li> <li><b>Zona de Amortecimento (ZA):</b> extensão das APPs, corresponde as áreas de APP que excedem os valores da APP de 30 metros prevista no código florestal até a distância de 50 metros, conforme consta do código de meio ambiente do município de Franca, buscando garantir a integridade dos recursos hídricos e recuperação dos cursos d'água.</li> </ol>

		<p>4. <b>Remanescentes Florestais (RF):</b> referem-se a áreas com vegetação nativa ou restaurada, que podem ser expandidas conforme interesse.</p>
<b>Áreas de Recuperação Ambiental (ARA)</b>	Áreas com ocorrências espacialmente identificadas, com usos e/ou ocupações que comprometem a quantidade e/ou qualidade dos recursos hídricos, que necessita de intervenções de caráter corretivo e, uma vez recuperada, de reenquadramento como ARO ou AOD, conforme suas características específicas.	<p>Divididas em:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Aterros (AT):</b> áreas com aterros ativos ou desativados, que necessitam de recuperação ambiental e acompanhamento.</li> <li>2. <b>ETEs (ETE):</b> Estações/lagoas de tratamento de esgoto previstas para serem descomissionadas, cujas áreas terão que ser recuperadas.</li> <li>3. <b>Incongruências em APP (IAPP):</b> áreas relacionadas com ausência de APPs ou em situação de degradação que devem ser recuperadas.</li> </ol>
<b>Áreas de Ocupação Dirigida (AOD)</b>	Áreas de interesse para a consolidação ou implementação de usos rurais e urbanos, desde que atendidos os requisitos que garantam a manutenção das condições ambientais necessárias à produção de água em quantidade e qualidade para o abastecimento das populações atuais e futuras.	<p>Divididas em:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Área Urbana Consolidada (AUC):</b> áreas que já apresentam ocupação urbana e seus entornos imediatos;</li> <li>2. <b>Baixa Densidade Nível 1 (BD1):</b> áreas determinadas com base nos limiares obtidos na análise multicritério, menor grau de restrição;</li> <li>3. <b>Baixa Densidade Nível 2 (BD2):</b> áreas determinadas com base nos limiares obtidos na análise multicritério, grau de restrição intermediário;</li> <li>4. <b>Baixa Densidade Nível 3 (BD3):</b> áreas determinadas com base nos limiares obtidos na análise multicritério, grau de restrição alto;</li> <li>5. <b>Área Urbana Sustentável Fase 1 (AUS1):</b> áreas com potencial de expansão controlada, definidas com base na análise multicritério e na avaliação dos vetores de crescimento potencial determinados com o modelo de custo.</li> <li>6. <b>Área Urbana Sustentável Fase 2 (AUS2):</b> áreas com potencial de expansão após a AUS1 e conforme atendimento de requisitos, definidas com base na análise multicritério e na avaliação dos vetores de crescimento potencial determinados com o modelo de custo.</li> </ol>

No contexto do zoneamento, algumas das áreas são proposições diferenciadas em relação a maior parte dos instrumentos já existentes. Como exemplo, destacamos a ARO-FC, ARO-ZA e as AOD-AUS1 e AOD-AUS2.

No caso da ARO-FC, a proposta observa a faixa de relevo mais acidentado caracterizada como Cuestas Basálticas. Essa faixa apresenta diversos trechos com declividade superior ao limite de 50% (que caracteriza áreas restritas) e áreas escarpadas, que implicariam na definição de áreas de proteção conforme o Código Florestal. Elas não ficam evidentes nos estudos dadas as limitações técnicas envolvidas na obtenção dos modelos digitais de elevação. Nesse sentido, a definição da ARO-FC visa garantir a conservação dessas áreas, evitar problemas relacionados eventual ocupação de áreas de risco (encostas) e de potencializar as aptidões dessas áreas (como o turismo, por exemplo).

Para a ARO-ZA, observou-se principalmente a Lei municipal existente e também a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012). A zona de amortecimento pode servir como mecanismo de adequação das áreas rurais à legislação vigente, que prevê o percentual de 35% e 20% de Reserva Legal para imóveis situados em área de Cerrado e outras áreas, respectivamente. Logo, como boa parte da bacia é composta pelo Bioma de Cerrado e como a Lei municipal da AIE Canoas prevê APPs de 50 metros, é interessante que tal instrumento possa ser usado como forma de garantir áreas de APP mais conservadoras e que aumentem a conectividade através dos corredores ecológicos, contribuindo de forma expressiva para a melhoria da qualidade ambiental do manancial e dos serviços ecossistêmicos. Dada expressividade da área e pensando nas eventuais dificuldades de implantação, fica também definido o incentivo para o uso de instrumentos de Pagamentos por Serviços Ambientais, já previsto em na Lei 14.119/21.

Por fim, as AODs AUS1 e AUS2 refletem áreas passíveis de urbanização, mas pensadas aqui de forma mais restritiva no que se refere aos instrumentos adotados atualmente no Plano Diretor, com vistas à garantia da qualidade ambiental e hídrica do manancial que abastece o Município de Franca. Essas restrições se baseiam principalmente nas simulações realizadas através dos diferentes cenários, descritos anteriormente no item 4.3.

Nesse sentido, se propõe um instrumento diferenciado para garantir o avanço controlado das áreas urbanas. Esse instrumento faz uso de um marco temporal, que serviria para avaliar o impacto do crescimento da AOD-AUS1 e a melhoria das condições ambientais, principalmente em termos das incongruências observadas e definidas pela ARA-IAPP antes de permitir um avanço mais significativo (AOD-AUS2). O prazo para o início do segundo momento dependerá do atendimento aos seguintes requisitos:

1. Avaliação da melhoria da qualidade da água no manancial, com amostragens obtidas em diferentes pontos da bacia, utilizando, por exemplo, os índices IQA e IET, acompanhando a legislação vigente;
2. Avaliação do avanço das áreas de APP, observado através do monitoramento por imagens de satélite. Esse monitoramento entra como uma Proposta de Programa, a ser integrado no Relatório 4.
3. Implementação dos programas de maior prioridade, a serem indicados no Relatório 4.

Tendo em vista as eventuais limitações legais em relação ao marco temporal da proposta apresentada, sugere-se que a contagem do prazo inicial seja determinada com base na aprovação da revisão do Plano Diretor Municipal. Após a consolidação/revisão desse

instrumento, é proposto um prazo de 3 a 5 anos, após o qual seria possível observar as mudanças com base nos monitoramentos a serem realizados.

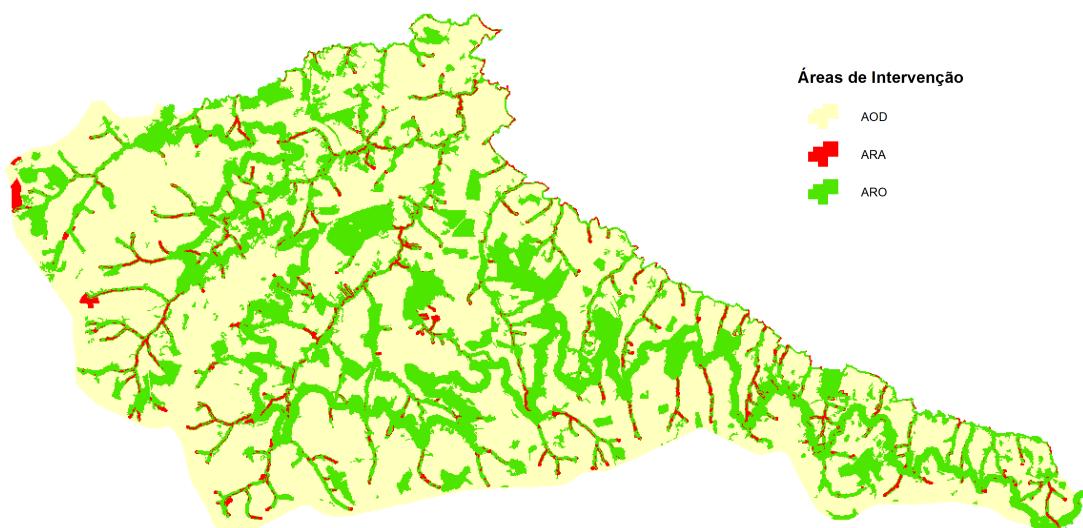


Figura 4.2.1 – Proposta de Zoneamento Ambiental Áreas de Intervenção.

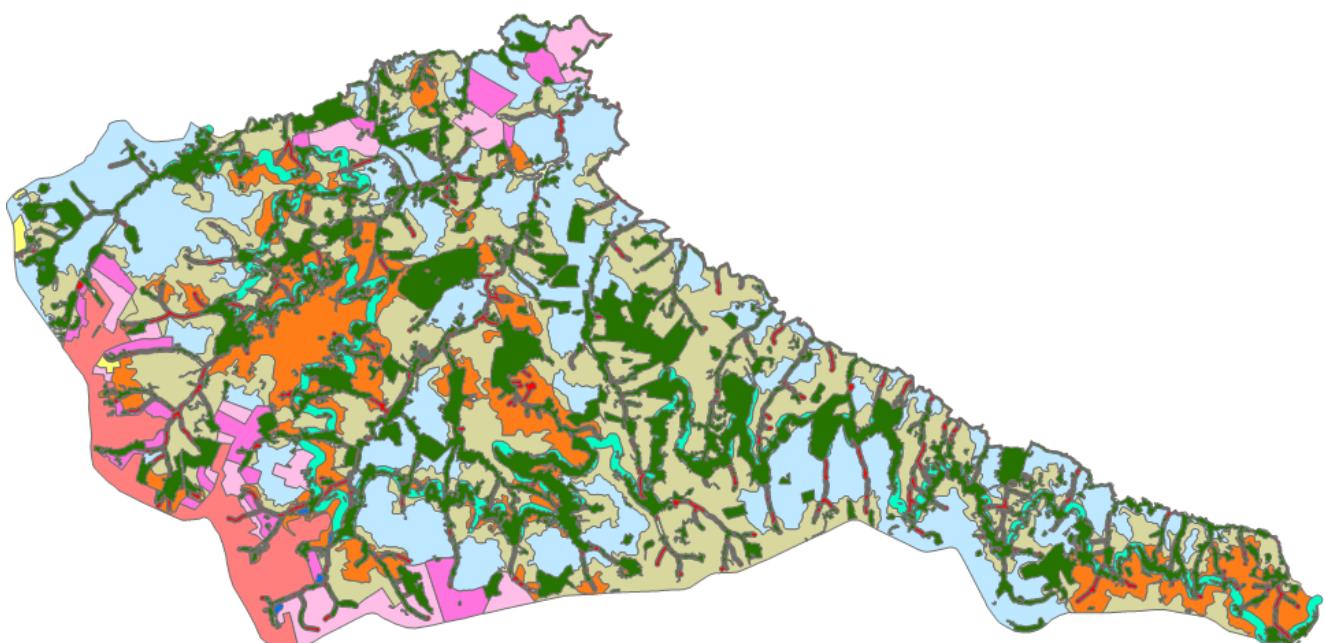


Figura 4.2.2 - Proposta de Zoneamento Ambiental Áreas de Intervenção Subclasses.

## 5. Diretrizes para o Zoneamento Ambiental Espaço-Temporal

Norteiam as diretrizes propostas os seguintes princípios:

- Manutenção dos serviços ecossistêmicos
- A ampla proteção do manancial, visando a não contaminação das águas e a garantia do abastecimento público.
- Controle de Processos Erosivos, evitando carreamento de sedimentos, assoreamento de córregos e contaminação de águas
- Proposição de premissas e regras para o uso ordenado do solo

### 5.1. Diretrizes Gerais

Embora o enfoque da proposta de Zoneamento e diretrizes seja mais direcionado às condições específicas de cada Área de Intervenção, elencamos algumas diretrizes comuns que devem ser observadas para todas as áreas:

- Reforçar a necessidade de cadastramento dos usos que demandam outorga;
- Restringir as áreas que permitam a aplicação do instrumento de outorga onerosa do direito de construir;
- Usar percentual mínimo de 25% de áreas verdes para os loteamentos, conforme estudo de Silveira, Oliveira e Schuch (2020), sendo esse valor relativamente mais restritivo que a lei de parcelamento do solo atual (art. 59 da lei complementar 137 de 2008);
- Não permitir o parcelamento de áreas com declividade igual ou superior a 30%, também conforme Art. 15 da Lei Complementar nº 137/2008;
- Não permitir o desdobro que resulte em lotes inferiores ao tamanho mínimo definido para cada classe de zoneamento;
- Garantir faixa de terreno não edificada com no mínimo 100 metros no entorno da rede hidrográfica, conforme preconizado atualmente pelo Plano Diretor Municipal em seu Artigo 13.
- Criar mecanismos de controle que inibam a contaminação ou degradação de APPs (e.g., deposição de entulhos, criação de animais, ocupação irregular);
- Garantir a universalização do saneamento básico (em suas quatro vertentes, água, esgoto, águas pluviais, resíduos sólidos) em toda a bacia.
- Garantir a adequada gestão dos efluentes líquidos e resíduos sólidos, com os devidos projetos e aprovações dos órgãos competentes;
- Garantir a manutenção da limpeza das galerias pluviais em áreas urbanizadas.
- Ampliar o serviço público de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos e recicláveis ao longo dos condomínios próximos as Vias João Traficante e Tancredo Neves. Nas demais áreas aumentar o número de pontos de descarte com um maior número de caçambas em cada ponto, além de promover a educação ambiental sobre resíduos sólidos em toda a bacia.

A implementação de quaisquer novos empreendimentos na AIE Canoas deve seguir os procedimentos e diretrizes **previamente acordados** com os órgãos responsáveis pelos processos de licenciamento ambiental bem como as demais instituições competentes, em particular a CETESB no que diz respeito aos estudos necessários para avaliação de futuros impactos ambientais, e com a SABESP referente aos projetos de redes de esgotamento sanitário, abastecimento de água potável e rede de drenagem pluvial, sendo responsabilidade dos empreendedores a execução de todos os projetos de infraestrutura necessários a implantação de novo empreendimento de forma a garantir a sua sustentabilidade ambiental em conformidade com as diretrizes deste plano.

## 5.2. Diretrizes Específicas

Para atender as especificidades de cada Área de Intervenção, indicam-se diferentes conjuntos de diretrizes, obedecendo as prioridades ambientais de cada classe. Assim, as diretrizes foram organizadas na forma de tabela (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Diretrizes específicas por classes de zoneamento.

Área de Intervenção	Diretrizes para cada subclasse
ARO - FC	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Preservar as características cênico-paisagísticas existentes.</li> <li>II. Incentivar o turismo ecológico sustentável.</li> <li>III. Promover a conservação do solo e o controle dos processos erosivos.</li> <li>IV. Promover a restauração da flora nativa e a conservação da fauna nativa, garantindo a manutenção/preservação dos serviços ecossistêmicos.</li> </ul>
ARO - APP	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Garantir a preservação da flora e da fauna nativas e serviços ecossistêmicos associados a elas.</li> <li>II. Assegurar a fiscalização das atividades de acordo com a legislação vigente para a manutenção da integridade de suas condições.</li> <li>III. Promover a conectividade das APPs.</li> </ul>
ARO - ZA	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Assegurar a proteção do entorno das APPs.</li> <li>II. Promover a conectividade das APPs.</li> <li>III. Estimular a recuperação das áreas degradadas e dos serviços ecossistêmicos.</li> <li>IV. Incentivar a compensação ambiental mediante Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS Ecológico e Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), conforme as prerrogativas da Lei 14.119/21.</li> <li>V. Permitir atividades/ocupações compatíveis com a conservação dos recursos hídricos e do solo.</li> <li>VI. Assegurar a conservação da fauna e da flora nativas.</li> </ul>
ARO - RF	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Garantir a preservação da flora e da fauna nativa e dos serviços ecossistêmicos associados a elas.</li> <li>II. Promover a conectividade dos remanescentes florestais e as APPs.</li> <li>III. Assegurar a fiscalização visando a manutenção da integridade de suas condições.</li> <li>IV. Incentivar a ampliação das áreas de reserva legal, com compensação ambiental mediante Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS Ecológico e Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), conforme as prerrogativas da Lei 14.119/21.</li> </ul>

ARA - AT	<ol style="list-style-type: none"> <li>I. Garantir a aplicação das legislações e normatizações específicas, com eventuais adequações.</li> <li>II. Implementar medidas que visem minimizar a necessidade de manutenção futura e liberação de líquido percolado contaminado e/ou gases para as águas subterrâneas, superficiais ou para a atmosfera;</li> <li>III. Monitorar as águas subterrâneas (por um período de 20 anos após o fechamento da instalação), garantindo a manutenção dos sistemas de drenagem e de detecção de vazamento, e a manutenção da cobertura de modo a corrigir rachaduras ou erosão.</li> <li>IV. Desativar conforme legislação e normatização específicas, quando for o caso.</li> <li>V. Garantir o monitoramento das áreas.</li> </ol>
ARA - ETE	<ol style="list-style-type: none"> <li>I. Incentivar a implantação de fazendas fotovoltaicas e/ou a renaturalização das áreas no caso de descomissionamento.</li> <li>II. Assegurar que não haja uso com contato primário e secundário pela população.</li> <li>III. Desativar conforme legislação e normatização específicas.</li> </ol>
ARA - IAPP	<ol style="list-style-type: none"> <li>I. Promover a recomposição da flora nativa e a conservação da fauna nativa.</li> <li>II. Definir programas para garantir o monitoramento e recuperação das áreas.</li> <li>III. Assegurar a fiscalização das atividades de acordo com a legislação vigente para a manutenção da integridade de suas condições.</li> <li>IV. Promover a conectividade das APPs.</li> </ol>
AOD - AUC	<ol style="list-style-type: none"> <li>I. Executar medidas individuais e/ou coletivas mitigadoras e/ou compensatórias previstas para regularizar os assentamentos existentes.</li> <li>II. Incentivar atividades econômicas compatíveis com a proteção dos recursos hídricos.</li> <li>III. Incentivar a criação de áreas verdes destinadas a praças e áreas de lazer, garantida a permeabilidade do solo;</li> <li>IV. Incentivar o uso de infraestruturas verdes e/ou soluções baseadas na natureza (SbN).</li> <li>V. Adequar as atividades previstas no Plano Diretor e no Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Aglomeração Urbana de Franca para a conservação dos mananciais.</li> <li>VI. Incentivar o uso do IPTU verde, instrumento já previsto na Lei Municipal 8.482 de 2016.</li> <li>VII. Ampliar os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário para toda a área consolidada (especialmente na área do Recreio Campo Belo)</li> </ol>
AOD – BD1	<ol style="list-style-type: none"> <li>I. Executar medidas individuais e/ou coletivas mitigadoras e/ou compensatórias previstas para regularizar os assentamentos existentes.</li> <li>II. Possibilitar a implantação somente de assentamentos residenciais de baixa densidade populacional, em conformidade com os índices urbanísticos previstos, desde que aplicadas medidas individuais e/ou coletivas mitigadoras e/ou compensatórias.</li> <li>III. Incentivar a implantação de empreendimentos de educação, cultura, lazer e turismo ecológico sustentável compatíveis com a conservação dos mananciais.</li> <li>IV. Possibilitar a expansão da rede de vias de acesso local de baixa capacidade e promover a execução de melhorias localizadas.</li> </ol>

	<p>V. Estimular a prática de técnicas agropecuárias que não comprometam a qualidade ambiental da bacia e seus mananciais.</p> <p>VI. Incentivar atividades econômicas compatíveis com a proteção da qualidade ambiental da bacia e seus mananciais.</p> <p>VII. Preservar as características cênico-paisagísticas existentes.</p> <p>VIII. Estimular a recuperação das áreas degradadas por mineração.</p> <p>IX. Implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário principalmente em loteamentos próximos às vias João Traficante e Tancredo Neves. Nas demais áreas dar continuidade ao abastecimento por poços e esgotamento sanitário por meio de fossas sépticas sendo necessária a fiscalização na construção e manutenção dos mesmos.</p>
AOD – BD2	<p>I. Executar medidas individuais e/ou coletivas mitigadoras e/ou compensatórias previstas para regularizar os assentamentos existentes.</p> <p>II. Permitir a implantação somente de assentamentos residenciais de baixa densidade populacional, em conformidade com os índices urbanísticos previstos, desde que aplicadas medidas individuais e/ou coletivas mitigadoras e/ou compensatórias.</p> <p>III. Limitar a ampliação da capacidade do sistema viário que induzam à ocupação ou adensamento populacional, exceto para adequação e manutenção tecnicamente correta das estradas vicinais.</p> <p>IV. Possibilitar somente atividades econômicas compatíveis com a proteção da qualidade ambiental da bacia e seus mananciais.</p> <p>V. Estimular o uso de técnicas agropecuárias que não comprometam a qualidade ambiental da bacia e seus mananciais.</p> <p>VI. Promover a recomposição da flora e a conservação da fauna nativa.</p> <p>VII. Estimular a recuperação das áreas degradadas por mineração.</p> <p>VIII. Implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário principalmente em loteamentos próximos às vias João Traficante e Tancredo Neves. Nas demais áreas dar continuidade ao abastecimento por poços e esgotamento sanitário por meio de fossas sépticas sendo necessária a fiscalização na construção e manutenção dos mesmos.</p>
AOD – BD3	<p>I. Executar medidas individuais e/ou coletivas mitigadoras e/ou compensatórias previstas para regularizar os assentamentos existentes.</p> <p>II. Permitir somente usos de baixa densidade populacional, em conformidade com os índices urbanísticos previstos.</p> <p>III. Controlar a expansão das áreas urbanas existentes e coibir a implantação de novos assentamentos.</p> <p>IV. Evitar a ampliação dos sistemas viários.</p> <p>V. Assegurar o uso de práticas agropecuárias de baixo impacto.</p> <p>VI. Limitar atividades econômicas não agropecuárias.</p> <p>VII. Promover a recomposição da flora e a conservação da fauna nativa.</p> <p>VIII. Garantir a recuperação das áreas degradadas por mineração.</p> <p>IX. Vedar a implantação e ampliação de atividades geradoras de efluentes líquidos não-domésticos ou que manipulem ou armazenem substâncias químicas tóxicas.</p> <p>X. Implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário principalmente em loteamentos próximos às vias João Traficante e Tancredo Neves. Nas demais áreas dar continuidade ao abastecimento por poços e esgotamento sanitário por meio de fossas</p>

	<p>sépticas sendo necessária a fiscalização na construção e manutenção dos mesmos.</p>
<b>AOD – AUS1</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>I. Possibilitar a implantação somente de assentamentos residenciais de baixa densidade populacional, em conformidade com os índices urbanísticos previstos.</li> <li>II. Garantir a fiscalização e o controle de atividades potencialmente poluidoras.</li> <li>III. Assegurar a criação de áreas verdes destinadas a praças e áreas de lazer, aplicando técnicas compensatórias de drenagem para assegurar a permeabilidade do solo.</li> <li>IV. Monitorar a evolução da qualidade ambiental da bacia e seus mananciais.</li> <li>V. Assegurar o crescimento urbano controlado e sustentável de acordo com as diretrizes e restrições indicadas neste Programa de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.</li> <li>VI. Garantir a implementação de coleta de resíduos sólidos.</li> <li>VII. Implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário principalmente em loteamentos próximos as vias João Traficante e Tancredo Neves, próximos da AUC. Nas demais áreas dar continuidade ao abastecimento por poços. Nessas novas áreas sugere-se a implantação de sistema condominial para o recolhimento e tratamento de esgotos sanitários devendo chegar a nível terciário, sendo necessária a fiscalização na construção e manutenção dos mesmos.</li> <li>VIII. Implementar medidas individuais e/ou coletivas mitigadoras e/ou compensatórias compatíveis com as características do local de cada empreendimento, conforme definido no Quadro de Índices Urbanísticos.</li> <li>IX. Incentivar o uso do IPTU verde, instrumento já previsto na Lei Municipal 8.482 de 2016.</li> </ol>
<b>AOD – AUS2</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>I. Condicionar o eventual uso urbano ao cumprimento pleno das diretrizes indicadas na AUS1.</li> <li>II. Possibilitar a implantação somente de assentamentos residenciais de baixa densidade populacional, em conformidade com os índices urbanísticos previstos.</li> <li>III. Garantir a fiscalização e o controle de atividades potencialmente poluidoras.</li> <li>IV. Assegurar a criação de áreas verdes destinadas a praças e áreas de lazer, aplicando técnicas compensatórias de drenagem para assegurar a permeabilidade do solo.</li> <li>V. Monitorar a evolução da qualidade ambiental da bacia e seus mananciais.</li> <li>VI. Assegurar o crescimento urbano controlado e sustentável de acordo com as diretrizes e restrições indicadas neste Programa de Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas.</li> <li>VII. Garantir a coleta de resíduos sólidos.</li> <li>VIII. Implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário principalmente em loteamentos próximos as vias João Traficante e Tancredo Neves, próximos da AUC. Nas demais áreas dar continuidade ao abastecimento por poços. Nessas novas áreas sugere-se a implantação de sistema condominial para o recolhimento e tratamento de esgotos sanitários devendo chegar a</li> </ol>

	<p>nível terciário, sendo necessária a fiscalização na construção e manutenção dos mesmos.</p> <p>IX. Implementar medidas individuais e/ou coletivas mitigadoras e/ou compensatórias compatíveis com as características do local de cada empreendimento, conforme definido no Quadro de Índices Urbanísticos.</p> <p>X. Incentivar o uso do IPTU verde, instrumento já previsto na Lei Municipal 8.482 de 2016.</p>
--	---

## 6. Proposta de índices urbanísticos

Além das diretrizes específicas, que buscam atender e resguardar às especificidades ambientais de cada área, entendemos que o crescimento urbano pode causar impactos e gerar pressões que comprometem a quantidade e qualidade da água dos mananciais. Por esta razão, e considerando os resultados apontados pelos modelos simulados, foram sugeridos parâmetros para os novos parcelamentos e para a ocupação das áreas da Bacia.

Observa-se ainda que os índices propostos devem ser aplicados mediante a garantia do atendimento das medidas estruturantes sugeridas.

De forma semelhante às diretrizes específicas, buscamos organizar os índices urbanísticos em tabela, sendo separados em dois quadros: no primeiro são trazidos os valores para os parâmetros considerados importantes (Tabela 6.1); e no segundo são apontadas propostas de medidas estruturais, não estruturais e compensatórias (Tabela 6.2).

A proposta para os lotes de 5000 m<sup>2</sup> acompanha a legislação vigente, no entanto, para a aplicação dos índices propostos para as demais áreas deverão, obrigatoriamente, implementar medidas mitigatórias estruturais, como as indicadas na Tabela 6.1. Essas medidas devem ser avaliadas caso a caso, observando as características particulares em cada situação.

Tabela 6.1 - Quadro de Índices Urbanísticos – parte 1:

Subclasses	Lote Mínimo (m <sup>2</sup> )	Taxa de Área Vegetada (%)	Área permeável mínima (%)	Coeficiente de Aproveitamento máximo
<b>Área Urbana Consolidada</b>	250	10%	20%	4,0
<b>Baixa Densidade Nível 1</b>	2500	50%	70%	0,2
<b>Baixa Densidade Nível 2</b>	5000	50%	70%	0,15
<b>Baixa Densidade Nível 3</b>	5000	60%	80%	0,1
<b>Área Urbana Sustentável Fase 1</b>	500	15%	30%	1,0
<b>Área Urbana Sustentável Fase 2</b>	500	15%	30%	1,0

Com base nos índices propostos, algumas observações são consideradas importantes. Começando pelo tamanho dos lotes, vale lembrar que, conforme já mencionado anteriormente no relatório, o presente zoneamento entende que a Área Urbana Consolidada, que se encontra nos limites da bacia, integra e impacta os mananciais da mesma, de modo que os eventuais novos lotes devem respeitar regras relativamente mais exigentes quanto ao tamanho mínimo de lote do que é previsto na legislação vigente (tamanho mínimo de 160 m<sup>2</sup>).

Já o tamanho de lote mínimo sugerido para as áreas de Área Urbana Sustentável é de 500 m<sup>2</sup>. Esse tamanho foi definido com base, principalmente, nos seguintes aspectos:

- O tamanho é de 10% em relação ao tamanho atual previsto para os lotes da área da AEI Canoas;
- Lotes muito pequenos criam pressão sobre o Coeficiente de Aproveitamento e sobre a Área Permeável;
- Conforme amostragem realizada no trabalho de Garotti e Barbassa (2020), lotes com áreas nessa ordem costumam apresentar um tamanho razoável de área permeável;
- O tamanho possibilitaria revisões futuras, caso necessário;

Sobre a Taxa de Áreas Vegetadas, destaca-se que esta considera o percentual de cobertura arbórea/arbustiva, gramado, jardins, etc. Portanto, não se refere apenas a cobertura arbórea. Além disso, deve se ter em mente que, embora os limites percentuais sejam independentes da Área Permeável Mínima, a área vegetada ainda está incorporada nesta última. Como exemplo, no caso da subclasse Área Urbana Consolidada, os 10% de Taxa de Áreas Vegetadas equivalem a 50% da Área Permeável Mínima, que é de 20% do lote.

O Coeficiente de Aproveitamento utilizado se refere ao valor máximo, uma vez que a proposta está sendo feita no sentido de não prever a aplicação do instrumento de Outorga Onerosa do Direito de Construir para a área da bacia (conforme apresentado no item 5.1). Para o caso da Área Urbana Consolidada, o valor indicado segue o padrão já adotado no Plano Diretor Municipal. Os demais apresentam coeficientes mais restritivos, respeitando as limitações ambientais identificadas na área e organizadas nas classes do Zoneamento proposto. O instrumento de Outorga Onerosa poderia ser aplicado apenas para o caso da AUC, com coeficiente básico de 1,0, conforme já previsto no Plano Diretor Municipal.

Ainda, vale reforçar que, para além dos índices propostos, deve se garantir a aplicação dos índices urbanísticos básicos estabelecidos nas demais leis municipais (por exemplo, a Lei complementar n. 137 de 2008 – Lei de Parcelamento do Solo; Lei Complementar n. 50 de 2003 - Plano Diretor; Lei Complementar n. 371 de 2021 – Código de Obras e Edificações).

A segunda tabela apresenta as medidas mitigadoras e compensatórias. As medidas compensatórias se referem às atividades desenvolvidas para compensar os impactos que não podem ser evitados e/ou mitigados; buscam repor bens socioambientais perdidos em decorrência de ações diretas ou indiretas sobre o meio. Já as medidas mitigadoras buscam reduzir a gravidade ou a relevância dos impactos ambientais.

Detalhes sobre propostas de medidas estruturais e não estruturais podem ser encontradas no Anexo 6.1.

As medidas compensatórias relacionadas com o pagamento de serviços ambientais devem respeitar a legislação vigente que permite, entre outras opções: pagamento direto, monetário ou não monetário; prestação de melhorias sociais a comunidades rurais e urbanas; compensação vinculada a certificado de redução de emissões por desmatamento e

degradação; títulos verdes (green bonds); comodato; Cota de Reserva Ambiental (CRA), entre outros.

Tabela 6.2: Quadro de Índices Urbanísticos – parte 2:

Subclasses	Medidas estruturais	Medidas não-estruturais
Área Urbana Consolidada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de pavimentos/superfícies permeáveis;</li> <li>• Sistemas de infiltração e de recarga de água;</li> <li>• Criação e manutenção de estruturas e dispositivos para retenção/detenção de águas pluviais;</li> <li>• Criação e manutenção de estruturas e dispositivos para dissipação de águas pluviais;</li> <li>• Soluções baseadas na natureza (SbN) para retenção, detenção e infiltração de águas pluviais.</li> </ul>	
Baixa Densidade Nível 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de biorretenção e sistemas com vegetação;</li> <li>• Pavimentos/superfícies permeáveis;</li> <li>• Sistemas de infiltração e de recarga de água;</li> <li>• Criação e manutenção de estruturas e dispositivos para retenção/detenção de águas pluviais;</li> <li>• Criação e manutenção de estruturas e dispositivos para dissipação de águas pluviais;</li> <li>• Uso de Sistema de Plantio Direto (SPD) e Terraceamento para culturas agrícolas.</li> </ul>	<p>Aplicação de Instrumentos Regulatórios (plano diretor de drenagem, legislações municipais, etc).</p> <p>Desenvolver práticas de educação e envolvimento público visando a redução de cargas de poluentes e o aumento da eficiência e longevidade de sistemas de drenagem.</p>
Baixa Densidade Nível 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de biorretenção e sistemas com vegetação;</li> <li>• Pavimentos/superfícies permeáveis;</li> <li>• Sistemas de infiltração e de recarga de água;</li> <li>• Criação e manutenção de estruturas e dispositivos para retenção/detenção de águas pluviais;</li> <li>• Criação e manutenção de estruturas e dispositivos para dissipação de águas pluviais;</li> <li>• Uso de Sistema de Plantio Direto (SPD) e Terraceamento para culturas agrícolas.</li> </ul>	Implementação dos programas do Plano de Gestão Integrada da Bacia do Rio Canoas em Franca.
Baixa Densidade Nível 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de biorretenção e sistemas com vegetação;</li> <li>• Pavimentos/superfícies permeáveis;</li> <li>• Sistemas de infiltração e de recarga de água;</li> <li>• Criação e manutenção de estruturas e dispositivos para retenção/detenção de águas pluviais;</li> </ul>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação e manutenção de estruturas e dispositivos para dissipação de águas pluviais;</li> <li>• Uso de Sistema de Plantio Direto (SPD) e Terraceamento para culturas agrícolas.</li> </ul>	
<b>Área Urbana Sustentável Fase 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de biorretenção e sistemas com vegetação;</li> <li>• Pavimentos/superfícies permeáveis;</li> <li>• Sistemas de infiltração e de recarga de água;</li> <li>• Criação de reservatórios para reduzir os picos de vazão;</li> <li>• Soluções baseadas na natureza (SbN) para retenção, detenção e infiltração de águas pluviais.</li> </ul>	
<b>Área Urbana Sustentável Fase 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de biorretenção e sistemas com vegetação;</li> <li>• Pavimentos/superfícies permeáveis;</li> <li>• Sistemas de infiltração e de recarga de água;</li> <li>• Criação de reservatórios para reduzir os picos de vazão;</li> <li>• Soluções baseadas na natureza (SbN) para retenção, detenção e infiltração de águas pluviais.</li> </ul>	

Como medidas compensatórias, sugere-se ainda:

- Criação de Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN;
- Pagamento por serviços ambientais, prioritariamente nas áreas de amortecimento, conforme as prerrogativas da Lei 14.119/21, que devem ser definidos com estudos específicos para a bacia;
- Criação de áreas verdes em AUC, desde que destinadas a praças e áreas de lazer, garantida a permeabilidade;
- Doação ao Poder Público de terreno localizado em Áreas de Restrição à Ocupação – ARO;

Durante o período de construção de lotes ou condomínios, Souza et al. (2012) recomendam as seguintes práticas relacionadas a drenagem, evitando processos de erosão/sedimentação dos solos:

- (i) utilizar materiais permeáveis na construção das vias de acesso nas residências e em estacionamentos;
- (ii) priorizar atividades de movimentação de terra (e.g., limpeza e nivelamento) na época de seca;
- (iii) sequenciar as atividades de construção, buscando finalizar as operações em uma área antes de iniciar em outra. Esta prática visa reduzir o tráfego de equipamentos e os impactos no solo;

- (iv) estabelecer controles de erosão e sedimentação dos solos imediatamente após as atividades de limpeza e nivelamento do solo; e
- (v) providenciar uma cobertura para os materiais utilizados na construção em períodos chuvosos evitando possíveis movimentações.

A implementação de práticas sustentáveis nas edificações de lotes individuais ou condomínios procura otimizar os recursos naturais e minimizar os impactos ambientais. O uso racional da água pode ser realizado por meio de ações e dispositivos:

- (i) reaproveitar a água da chuva, coletando-a e armazenando-a em tanques específicos, que podem ser utilizada para várias finalidades, como regar plantas, limpeza de jardins, calçadas e partes comuns do condomínio;
- (ii) uso de irrigadores automatizados, evitando o desperdício de água;
- (iii) garantia da permeabilidade do solo com manutenção de área verde mínima de 25% (Silveira et al., 2020), além da instalação de dispositivos de drenagem;
- (iv) plantio de vegetação na construção de edificações de uso residencial ou misto, com área total de edificação igual ou superior a 150,00 m<sup>2</sup>, sendo obrigatório o plantio no lote, de pelo menos, 01 árvore/150,00 m<sup>2</sup> (ex: Prefeitura de Fortaleza, Certificação Fator Verde);
- (v) telhados verdes que amenizam a temperatura indoor, o que diminui gastos com energia para a manutenção do conforto térmico; e
- (vi) coleta seletiva e reciclagem.

A implantação de projetos sustentáveis deve ser incentivada, tanto individualmente, quanto coletivamente, estas devem estar atreladas às diretrizes das legislações vigentes e às orientações do Plano Diretor Municipal.

## 7. Considerações Finais

O Zoneamento Ambiental apresentado neste relatório foi elaborado a partir do reconhecimento da relevância da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas para o abastecimento público de água potável do município de Franca. Para tanto, seguiram-se os princípios da prevenção e da precaução, evitando situações prejudiciais à situação hídrica da bacia hidrográfica. Assim, foi imprescindível considerar as características e sensibilidades ambientais percebidas e identificadas na área, gerando uma proposta de ordenamento do uso e ocupação do solo que respeita as vulnerabilidades e aptidões da bacia hidrográfica.

As diretrizes apresentadas preconizam ações mitigadoras e compensatórias de forma a regular o uso do solo proporcionando sustentabilidade ambiental para cada tipo de atividade, seja ela urbana ou rural.

A proposta de Zoneamento Ambiental, bem como as diretrizes elencadas neste plano são **sugestões** fruto da análise do diagnóstico e das simulações realizadas a título de prognóstico, que necessitam, portanto, ser ratificadas quando da revisão do plano diretor municipal. Além disso, devem ser envidados esforços junto ao legislativo municipal para as devidas alterações e/ou adequações das legislações municipais que regem o tema.

Destaca-se que as vedações e restrições de usos e atividades já previstas na legislação vigente, pautadas ou não no presente plano, devem assim permanecer até ratificação da revisão do plano diretor municipal.

As alterações de uso, com implantação de novos empreendimentos urbanos na AIE Canoas, devem ser pauta no Conselho Municipal de Meio Ambiente, sendo responsabilidade deste conselho deliberar sobre a viabilidade, tendo em vista a conformidade com o zoneamento e a aplicação das diretrizes.

Entende-se prioritário para a preservação e a manutenção dos mananciais de abastecimento, bem como para a efetiva aplicação do Programa de Gestão Integrada da Bacia do Rio Canoas em Franca, a implementação de uma série de programas e ações a serem apresentados no Relatório 4. As diretrizes sobre loteamentos e outras áreas irregulares também serão abordadas em programa específico, a ser apresentado no próximo relatório.

A fim de garantir recursos para essa implementação sugere-se, além das medidas mitigatórias e/ou compensatórias a cobrança financeira de compensação ambiental de novos empreendimentos. Para isso, sugere-se a criação de um fundo de compensação para o financiamento dos programas a serem propostos, ou uma conta específica no fundo municipal de meio ambiente. Além disso, é necessário esforços para adequar a legislação e regulamentar efetivamente uma Área de Proteção Ambiental junto ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, com a implementação de um plano de manejo adequado, o que facilita a obtenção de recursos adicionais para a implementação dos programas a serem executados, e efetivar o Programa de Gestão Integrada da Bacia do Rio Canoas.

## 8. Referências

Crepani, E. et al. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE, junho 2001, 80 p. INPE /8454/ RPQ/722.

da Cunha Tasca, B. F., F. V. Xavier, e A. J. B. Siqueira. "Localização de nascentes ameaçadas em áreas urbanas: Uma estratégia preventiva de conservação ambiental com auxílio de Modelo Digital do Terreno (MDT)." *Revista Brasileira de Geografia Física* 14.04 (2021): 2186-2203.

da Silveira, S. J.; Oliveira, F. H. e Schuch, F. S. Área verde mínima para loteamentos sustentáveis segundo o ciclo hidrológico. *Revista Arquitetura* 16.1 (2020): 23-45.

Jasiewicz, J and Stepinski, T. J., Geomorphons – a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms, *Geomorphology*, 182, January 15, 2013: 147-56. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>

Jimenez-Rueda, J. R. et al. Estudo Geoambiental do Município de Franca - SP. 2011. (Relatório de pesquisa).

KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, W. Manual teórico-prático da ferramenta WARM-GIS Tools. 2017.

Parrot, R., and F. P. Stutz. "Urban GIS applications." MAGUIRE, DAVID J., GOODCHILD, MICHAEL F., and RHIND, DAVID W. *Geographical Information Systems. Principles and Applications*. New York: Wiley & Sons Vol. 2 (1991): 247-260.

Perrotta, M. M. et al. Geologia e recursos minerais do estado de São Paulo. CPRM, 2006.

Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*. n.8, p.63-74. 1994.

Westervelt, James, Todd BenDor, and Joseph Sexton. "A technique for rapidly forecasting regional urban growth." *Environment and Planning B: Planning and Design* 38, no. 1 (2011): 61-81.

Wu, Fulong, and David Martin. "Urban expansion simulation of Southeast England using population surface modelling and cellular automata." *Environment and Planning A* 34, no. 10 (2002): 1855-1876.

Prefeitura de Fortaleza, Certificação Fator Verde. Disponível em: [https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/servicos/certificacao-fator-verde/manual\\_-\\_parcelamento\\_do\\_solo.pdf](https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/servicos/certificacao-fator-verde/manual_-_parcelamento_do_solo.pdf). Acesso em: 16 de agosto de 2023.

Silveira, S. J.; Oliveira, F. H.; Schuch, F. S. (2020). Área verde mínima para loteamentos sustentáveis segundo o ciclo hidrológico. *Arquitetura Revista*, 16(1):23-45.

Souza, C.F.; Cruz, M.A.S.; Carlos Eduardo Morelli Tucci, C.E.M. (2012). Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. BRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 17(2):9-18. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=62&SUMARIO=814>

São Carlos, 11 de Setembro de 2023

Cláudio Bielenki Jr

Coordenador